Science in Social Issues

Implications for Teaching

A Discussion Paper
by Glen S. Aikenhead

Science Council of Canada

Discussion Paper D80/2

37 V

SCIENCE IN SOCIAL ISSUES
Implications for Teaching

A Discussion Paper
by Glen S. Aikenhead
December 1980

Discussion Papers are working documents made available by the Science Council of Canada, in limited number, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this Discussion Paper are those of the author and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

SCIENCE IN SOCIAL ISSUES
Implications for Teaching

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario.
K1P 5M1

Des exemplaires de *L'enseignement des sciences dans une perspective sociale* seront bientôt disponibles gratuitement.

©Minister of Supply and Services, 1980

Catalogue No. SS21-4/3-1980E
ISBN No. 0-662-11183-4

TABLE OF CONTENTS

Foreword 5

Prologue 7

I. RETHINKING THE GOALS OF SCIENCE EDUCATION 11

II. THE CONSUMER OF SCIENCE EDUCATION 15
Introduction 15
Different Kinds of Scientific Knowledge Developed 16
Summary 24
Different Roles in Society 25
Professional Careers 27
Judicial, Business, Industrial, and Government Decision Makers 27
The Citizenry 31
Summary 34
Different Ways of Using Scientific Knowledge 35
Decision Making for Science-related Issues 39
Summary 48

III. CHARACTERISTICS AND LIMITATIONS OF SCIENCE 50
Introduction 50
The Nature of Science 51
The Principal Aim of Science 52
Science and Technology 52
The Myth of the Scientific Method 53
Facts 54
Scientific Logic 55
Science as Imagination 57
Science as a Cultural Phenomenon 59
Decision Making in Science 60
Tentativeness of Scientific Knowledge 61
Assumptions Underlying Science 62
Science and Values 63

IV. CONCLUSION 68

Appendix 71

Notes 72

FOREWORD

This paper has been prepared for a study of Canadian science education being undertaken by the Science Council of Canada, under the direction of its Science and Education Committee. The study, which began in the spring of 1980, has three overall aims:

- to establish a documented basis for describing the present purposes and general characteristics of science teaching in Canadian schools;
- to conduct an historical analysis of science education in Canada;
- to stimulate active deliberation concerning future options for science education in Canada.

As this third aim suggests, the Science Council has, at present, no collective view on desirable directions for science education in Canada. It is seeking, however, to develop such a view and to this end is actively soliciting a diversity of opinions concerning possible directions. It is intended that these viewpoints, articulated in the form of discussion papers and disseminated as widely as possible, will prompt science educators and others to review current policies and practices. By sharing in these deliberations and at the same time conducting a systematic inquiry into current and past policies and practices, the Science Council hopes to acquire a good understanding of the state and needs of science education in this country, and thereby make constructive recommendations.

The first discussion paper in this series, *A Canadian Context for Science Education*, was published in 1979. Its author, James E. Page, argued strongly for greater attention to the achievements and the impact of science and technology in Canada.

The present paper takes part of this argument a step further, and raises important questions about the type of science education members of society will require in the latter part of this century. The author, Glen S. Aikenhead, himself experienced in both science teaching and curriculum research and development, outlines some of the complex ways in which science relates to social and political decision making. This analysis leads to the identification of a set of goals for science education which, he argues, are needed if Canadians are to be able to comprehend and contribute to their technologically-oriented society. The remainder of the paper provides a detailed account of how such goals can be implemented through the use of appropriate teaching strategies.

It must be stressed that the views expressed in this discussion paper are those of the author, and not necessarily those of the Science Council or its Science and Education Committee. However, in publishing the paper, Council believes that a well argued position has been set out, and that discussion amongst a wider audience can benefit both the study and Canadian science education, in general.

James M. Gilmour,
Director of Research,
Science Council of Canada

PROLOGUE

Under Section 236 of the Criminal Code of Canada, it is against the law for a person to drive with over 80 mg of alcohol per 100 mL of blood in the bloodstream. The law requires that a test be available for assessing a person's blood alcohol level, and Borkenstein's breathalyzer provides the technical means for such a test.

This technological device draws upon established scientific knowledge and methods; for example, gas laws, oxidation-reduction principles, equilibrium, taking accurate instrument readings, use of control samples, and estimation of measurement errors. Like most technological advances, Borkenstein's breathalyzer has had social implications. It has enabled police to test drivers suspected of driving while impaired, and has discouraged some potentially dangerous drivers from operating their cars while under the influence of alcohol.

But at the same time, it has caused unforeseen problems in Canadian courts when results of breathalyzer tests are used as evidence. To obtain a conviction of impaired driving, the evidence against a person must be "beyond reasonable doubt". With a Borkenstein breathalyzer, this evidence consists of a reading from a scientific/technological instrument. The problem for the courts is that to establish proof beyond reasonable doubt, judicial reasoning or scientific/technological reasoning may be used. (The two are not necessarily the same, as will be shown.) Should the courts use

scientific/technological reasoning for cases in which Borkenstein breathalyzer readings are used as evidence? Some Canadian judges say "yes", while some say "no"!

Two recent cases, *Regina* v. *Moreau*, and *Regina* v. *Maclellan*, have questioned the validity of scientific thinking in Canadian courts.

With a blood alcohol level of 90 mg per 100 mL, Moreau was charged with, but not convicted of, impaired driving. The Quebec courts accepted his defence that measurements from the Borkenstein breathalyzer, like all scientific instruments, contain an inherent margin of error. Experts considered this margin of error to be ±10 mg. The Quebec courts understood the law to mean "above 80±10 mg". And, of course, a reading of 90 mg is within this margin of error. However in 1978, the Supreme Court of Canada overruled the Quebec courts, and in a 5 to 4 split decision convicted Moreau of impaired driving. The Supreme Court majority contended that a reading from an instrument that has been approved by the Solicitor General does not have a measurement error associated with it. One year later, the Solicitor General's Office sent a memorandum to all officers operating the Borkenstein breathalyzer. It asked them not to lay charges unless the suspect "blows 90 mg or over."

In the Maclellan case, a British Columbia court found Maclellan not guilty because the breathalyzer technician failed to follow proper scientific procedures on three points: 1) the technician did not take the room temperature. (The equilibrium in the standard potassium dichromate solution is affected by room temperature, and the operating manual states that the temperatures of the room and solution must be within $1^{o}C$ of each other); 2) the technician used inappropriate sampling techniques to ensure the suitability of the dichromate solutions; 3) the technician did not use a control for each breath sample analyzed. In his written judgement, Mr. Justice Washington stated:

> "...Surely, therefore, before in fact anyone is convicted by a machine it must be clearly demonstrated on the evidence and beyond reasonable doubt that the machine's answers are as a result of strict accuracy and strict observance and compliance by the technician in operating to the operation manual.
>
> "Nowhere in this manual does it state the Borkenstein Model 900A is a self-testing machine or error-proof. *To hold that it is*, therefore, in my judgment, *would be for the Court to place itself, in chemical and scientific knowledge and technical operation, above the knowledge of the experts who have written the manual.*
>
> "Any machine can malfunction or (in this context) give incorrect readings if it is not correctly operated and this is clearly set forth in the manual. Surely, therefore, not one of the instructions can be ignored or by-passed or performed in any way but precisely as set forth in the manual. Only then can the final readings be accepted by the Court as proof of anything."* (Italics mine.)

The Supreme Court of Canada *overruled* Mr. Justice Washington, and convicted Maclellan of impaired driving.

Canadian courts do not agree on the relevancy of scientific thinking. In order for the courts to achieve consensus, judges would require a common literacy about science and a common wisdom for deciding when scientific reasoning is appropriate.

But where in our society can judges and other citizens develop a literacy about science and the wisdom for utilizing scientific thought? High school science courses that teach about the relationships between science and society could provide one means. This paper outlines what the objectives of such courses might be, why these objectives are vital to Canadian society, and what attributes of science need to be taken into consideration in developing materials for a science and society curriculum.

---

*Penticton Registry, Doc. No. 129/78, December 1978, pp. 19,20.

RETHINKING THE GOALS OF SCIENCE EDUCATION

In February 1975 during a debate on an abortion bill, a federal cabinet minister said that he would wait until science defined when an embryo becomes human, before he would take a stand on the abortion issue. The cabinet minister, recognizing the abortion issue as a science-related problem, believed that the scientific community could therefore define when an embryo is human. After all, that is what science does, doesn't it: it makes clear definitions!

In Canada today, major decisions on science-related issues are being made by those who misunderstand what science does. This misunderstanding occurs with government agencies, corporate boards, industrial experts, and citizens voting on plebiscites. Canadians are constantly making decisions about future energy resources (e.g., nuclear or conventional), food production (e.g., bioengineered or natural), and pollution (e.g., acid rain and insecticide poisoning). If decisions are being made by people with as little knowledge about science as the federal cabinet minister, the cost to Canadians will be severe. James Page came to the same fundamental conclusion in his paper, *A Canadian Context for Science Education.*

> "If Canada is to deal effectively with its future, then a citizenry able to comprehend science issues is a necessity. This goal will be possible only if our present and future scientists are critically aware of the impact their research and teaching can have on Canadian society, and only *if the*

> *general population understands the important relationship between science and society.*"[1] (Italics mine.)

The relationship between science and Canadian society is complex, intricate, and multifarious. The scientific enterprise affects Canadian society in a number of ways. Canadian society likewise influences science. The two interact. The more the general public and professional scientists understand this interaction, the more likely that effective resolutions to science-related problems will be achieved.

For many citizens, including many who will go on to further education, the primary and possibly only opportunity for acquiring an understanding of the interaction between science and society will be in science courses taken as part of a general education. School science teaching has, therefore, a special responsibility to ensure that its goals and practices provide an opportunity for students to learn about this vitally important area. Yet, traditionally, science education has been concerned with other things. Now is the time for these traditional goals and practices to be reformulated with the express intention of incorporating and emphasizing this science/society interaction. This idea is not new; the same point has been made in the United States,[2,3,4,5] in Britain,[6] and also here in Canada.[7,8] In the words of Paul Hurd, we must "align the teaching of science with social realities."[9]

While it is not the purpose of this paper to argue in detail about what a comprehensive set of goals for science education should be, a subset of those goals is described here as embodying a "science-and-society" orientation.*

---

* For another account of such an orientation, see Orpwood and Roberts.[10] A more detailed account of objectives concerning the process, nature, and social aspects of science is set out by Aikenhead[11] and Welch *et al*.[12]

Let us return briefly to the cabinet minister who believed that science could define the point at which an embryo becomes human. Such a definition is clearly beyond the domain of science *per se*. However, scientific knowledge (embryo physiology or biochemistry) may be drawn upon in a rational way when political, ethical or judicial decision makers formulate a definition. Although defining humanness is not a scientific task, scientific knowledge may be useful to a limited extent. Thus an important lesson is learned from the abortion debate scenario: rational discussion of science-based issues will invariably be mediocre without a realistic appreciation of what *can* and *cannot* be done with scientific methods and knowledge. In order to make rational decisions on science-related issues, Canadians require answers to three vital questions:

1. What does science actually do, and what is it really all about?

2. What are the limitations of science: what can it do and what can it say?

3. How can science, with all its limitations, be used to help Canadians resolve "real life" social problems, and cope with, and manage, a complex scientific, technological society?

Science education in Canada can certainly help students answer these questions by assisting them in learning:

1. *The characteristics of science*; including its aims and values, its human character, and its strategies for decision making and extending knowledge;

2. *The limitations* of scientific knowledge, scientific values, scientific strategies, and scientific techniques; including the recognition that science is but one knowledge system among many in our society, and an examination of the boundaries between science and politics, science and economics, science and religion, science and technology, and science and ethics;

3. *The characteristics of science and its place in Canadian society*; including Canadian case studies of science-

> related problems; and including personal interpretation of one's community by making decisions as a consumer, as a voter, and in career planning.

These objectives merit the highest priority in any curriculum with a science and society focus.

How do people such as the aforementioned cabinet minister come to believe that science alone can settle complex value judgement problems? What would such people need to know to prevent them from coming to such conclusions? One thing seems certain. Scientific knowledge by itself, for example meiosis/mitosis, embryo physiology, and the role of RNA in cell differentiation, will not alter erroneous expectations of science. One may have memorized the major phyla, and have learned to balance redox reactions. One may have excelled at solving physics problems. And one may have received A's in high school science. But when interpreting the "real" world at a crucial moment of decision, one may be ignorant. Generally speaking, such people do not understand the characteristics and limitations of science.

The remaining two sections of this paper expand on the objectives identified here. As pointed out earlier, a reorientation of the current science curriculum is being proposed: from a curriculum that is structured after the discipline itself, to another - the science and society curriculum - based on the social context of the student and the role science plays within that context. In order to explore the implications of teaching a science and society curriculum, one must recognize that students are *consumers* of science education. Section II of this paper addresses the consumer/student viewpoint. As a consequence of this perspective, some important characteristics and limitations of science are examined in section III. This analysis is illustrated by reference to a set of curriculum materials, *Science: A Way of Knowing*,[13] developed and tested in Saskatchewan for use in teaching science at the junior high school level.

II THE CONSUMER OF SCIENCE EDUCATION

Introduction

The type of knowledge acquired in most science classes is inadequate for the future needs of the student. The study of science has traditionally been socially and culturally sterile, and instruction has not prepared many students for their future social responsibilities. Perhaps if science instruction focused more on the relationships between science and Canadian society, people such as the aforementioned cabinet minister would be better prepared to discuss moral and social issues, such as abortion.

Adopting a science and society curriculum for Canadian schools has many implications. While exploring some of these implications, one must constantly keep in mind the interests of the clientele. The consumers of science education develop different kinds of knowledge from their science classes. They see that knowledge as relevant only if it relates to their needs, interests, or social responsibilities. Different social responsibilities lead to different uses being made of that knowledge. These realities suggest at least four fundamental issues, each representing a vital component of the students' education in science:

A. The different kinds of knowledge developed from science education;

B. The different roles that Canadian high school graduates will play in society;

C. The different ways Canadian high school graduates will use the knowledge developed from science classes;

D. The decision-making processes used in resolving science-related social issues.

These four topics help to define the consumer's point of view. By conducting a study of science education in Canada, the Science Council of Canada has indicated its desire to participate with provincial science educators in deliberations concerning the future of science education in this country. In this context, an appreciation and understanding of the needs of the consumer are important to the quality of those deliberations. For this reason, the issues listed above are developed at greater length.

A. Different Kinds of Scientific Knowledge Developed

A fair amount of research and discussion in science education has been predicated on the belief that there are a variety of different legitimate goals in a child's science education. One classification scheme that emerged in the 1960s looked at science goals in terms of "product" and "process". Another popular scheme, rooted in educational psychology, described three domains: "cognitive", "affective" and "psychomotor". Klopfer applied this psychological system to science instruction.[1,2] His classification scheme is the one most often used in science education literature today. Although Klopfer's expanded system contains many details, one can recognize five different categories of knowledge that students develop from their science experiences:*

1. Subject matter facts, concepts, principles, and skills (intellectual and manual), and their application to new situations in science and technology;

---

* This five-category scheme is a heuristic device. It gives some reasonable structure to the paper, and thus it guides the reader through an otherwise complex quagmire.

2. The ability to engage in the processes of scientific inquiry;

3. General ideas about the characteristics and limitations of science;

4. Important relationships between science and society;

5. Attitudes and interests related to science.

Because the purpose of this paper is to examine the consequences of adopting a science and society content in science classes, a thorough treatment of each category is not included here.* Instead the discussion will focus on the relationship between knowledge acquired from science education and understanding the interactions between science and Canadian society.

1. The first category is the set of traditional facts, principles and skills of the discipline. For example, students may learn to define "mass" and "atom", to describe the structure of the atom, to recognize the difference between fusion and fission, to compare meiosis with mitosis, to calculate density, to analyze an event in terms of the conservation of energy, and to use the atomic molecular model in explaining familiar physical phenomena. With this knowledge, students deal with science using a frame of reference, or perspective, restricted to the domain of the discipline. In a sense, it is seeing and experiencing science through the eyes of the professional practitioner. This aspect of science education has long been recognized as pre-professional training.[4,5,6,7] High school teachers and students perceive it as the content of university entrance or placement exams.

A purely discipline-centred curriculum does not produce an opportunity for studying the relationships between science and Canadian society. These relationships involve the integration of knowledge from

* For a thorough treatment, based on an integration of psychological empiricism, science education, and a philosophy and epistemology of science, see Aikenhead, 1978.[3]

various disciplines. Rather than being integrated, discipline-bound courses are usually isolated in an academic vacuum. They appear to have little relevance to everyday life. Where relevance does exist, it is primarily for the university-bound student, who may require pre-professional training in science. While Jerome Bruner's *The Process of Education*[8] enthusiastically encouraged the discipline-centred curricula of the 1960s, his paper "The Process of Education Reconsidered"[9] supports the need to broaden curricula in order to deal with other vital knowledge such as the relationship between science and society.

Recent research has shown that many students can be adept at mimicking the language and problem-solving skills of scientists without actually learning the scientist's frame of reference.[10] Just because students appear to learn the subject matter of science does *not* mean they have understood it as a scientist understands it. Many students resist learning the structure of the discipline.

2. Engaging in scientific inquiry has been espoused as an important objective of science instruction. This activity requires student participation in problem solving, decision making, critical thinking, and/or knowledge generation. John Dewey's idea of learning to inquire into natural phenomena was revitalized in the post-Sputnik professional literature of science educators.[11] On the one hand, this kind of knowledge could be acquired as pre-professional training, learning to carry out the processes of science through the eyes of a scientist. On a broader basis, scientific inquiry could be a personal experience from which students reflect on the *nature of* scientific inquiry (its purposes, its assumptions, its characteristics and limitations).

From either perspective however, engaging in this type of inquiry is unlikely to occur in most American schools today.[12] Canadians have a critical lesson to learn from their American neigh-

bours on this point. During the post-Sputnik era in the US, the National Science Foundation and professional science education associations encouraged teachers to alter their science curricula to include scientific inquiry. Welch's research group described a cycle of reasons for the American lack of success: the absence of inquiry in university science classes, the dearth of inquiry in a teachers' professional courses, the anticipated problems in implementing curricula changes (equipment, space, and time), the paucity of textbooks that include inquiry as an integral part of the content, and the subtle but powerful antagonism of the community's values toward inquiry.[13]

The implications for Canadian science educators are clear. Altering the traditional view of good science teaching will require concerted action on a number of fronts. To overcome the inertia of the status quo, this action must be guided by wisdom. The wisdom of Canadian science educators could be augmented by the experiences of their American colleagues. In this regard, the inquiry story is worth studying.

3. A third category of knowledge for science classes concerns some general ideas about the characteristics and limitations of the scientific enterprise. For example, students may learn that scientific theories are developed to explain natural phenomena and to guide further experimentation, and that scientific theories such as evolution or nucleon attraction are not developed to arbitrate on religious or political issues. Students may also discover that because scientific knowledge is developed by humans, it is subject to all the characteristics and limitations of the imagination, logic and foibles of human nature. Alternatively and unfortunately, students might acquire the misconception that scientific knowledge is objectively correct and unalterable, "a rhetoric of conclusions."[14]

When acquiring this third area of knowledge, a student uses a frame of reference that exists beyond the domain of science. It is a

matter of stepping outside the confines of the discipline, and as an outsider, looking back upon the discipline, examining it, analyzing it, and reflecting on it. In this broader frame of reference, students deal with such questions as: What are the major objectives of scientists in pursuing their research? What thought processes are useful to scientists? What are some of the fundamental unproven assumptions they make in order to do this work? How do they substantiate the knowledge claims they make? What human characteristics help to advance or retard the development of scientific knowledge? How do scientists change their ideas or theories to keep up to date? How do scientists resolve disagreements? Why do they believe what they believe? What are some inherent limitations to their methods of thinking and believing?

Even though a teacher might not consciously plan for teaching in this third area of knowledge, students nevertheless develop some understanding or misunderstanding of the nature of the scientific enterprise.[15] For example, a physics lesson might have the objective of teaching that Force = mass x acceleration (F = ma). The teacher might plan an experiment in which the relationship F = ma is generalized from observations by the class. Alternatively, the teacher might state the relationship as a scientific fact and give mathematical examples. In each type of lesson, a student is likely to learn something more than F = ma. Exposed to the first method he or she might learn: science is not as precise as the mathematics it uses. Exposed to the second he or she might learn: science is a body of precise, unalterable knowledge.

It has been argued earlier in this paper that misconceptions and distorted knowledge about the nature of science have foreboding consequences to individuals wishing to cope with a scientific and technological society. Research in science education suggests that many high school graduates in the United States and Canada have inadequate and grossly distorted knowledge about the nature of science.[16,17,18,19] Present high school science courses generally do not ameliorate a

student's misconceptions and false images of science.[20,21] An evaluation of the Saskatchewan chemistry program indicated that students develop as many misconceptions as realistic understanding about science and scientists.[22] Moreover, research clearly indicates that students tend to learn more about the characteristics and limitations of science, the more it is explicitly taught.[23]

In reformulating Canadian science education with a science and society emphasis the following points must be taken into consideration:

1) that students will come to their classes with many misconceptions about the scientific enterprise;

2) that changing these misconceptions into simplified understanding, and then on to more sophisticated insights requires explicit instruction and evaluation;

3) that it is difficult to alter adolescents' misconceptions about science and scientists (probably because we are dealing with their beliefs as opposed to their impersonal repository of traditional subject matter); and

4) that it takes time to change misconceptions, time that would normally be spent in the pursuit of pre-professional training.

Specific ideas about the characteristics and limitations of science are described in some detail in the concluding section of this paper. Students require a realistic understanding about the scientific enterprise in order to study the important relationships between science and the rest of society.[24]

4. The main reason for explicitly teaching the characteristics and limitations of science is its application in the study of the interaction between science and Canadian society.

A science and society perspective would use a frame of reference broader in scope than the one used in the previous knowledge category. Such a perspective views science as a social enterprise that

influences human affairs. In the lives of cabinet ministers, corporate board members, the voting public, and inquisitive adolescents, science exists in the context of Canadian society. Science interacts with for example technology, economics, politics, and religion. These areas are themselves affected by science through the technological implementation of scientific knowledge, or more subtly, by the intellectual influence of scientific ideas.[25-31] Conversely, science is affected either directly by the degree of their material and moral support, or more subtly by society's metaphors and problems.[32] Just as an individual is shaped by his or her cultural environment (sociobiology notwithstanding), science is molded by its societal environment. Hence, there is a separate category of knowledge concerning the interaction of science and society.

In coping with day-to-day life, most adolescents deal with science in this social context. They are "outsiders" trying to make sense out of a society that has in large measure been shaped by science and technology, and continues to be reshaped each year. Typical questions that arise in this fourth area of knowledge are: What are the relationships between science and technology? What is the value of a scientist's opinion when he or she is speaking on a social issue? How does a person work out a relationship between religious claims and scientific claims? Where do scientists acquire the imagery and metaphors they use in their creative thinking? To what extent does financial support influence the direction of science? How do science and technology generate ethical questions? What power do social institutions have in supporting or suppressing scientific research that is detrimental to the public? How can the public influence research carried out in the private business sector? Who mediates conflicts between the interests of public health and the interests of corporate profits? In what ways, and to what degree, is scientific knowledge useful in resolving science-based social issues? Research concerning this fourth area of knowledge reveals a paradox in the minds of many American students:

> "We are confronted with a paradox. Young people perceive science and technology as a cause of problems, but they are confident science can solve the problems. They think science has changed life for the better and worse, and beyond a sense of wonder, they are hopeful or indifferent."[33]

Learning about the relationships between science and society was a major topic of Page's analysis of Canadian science education.[34] Concern over an apparent mediocre understanding of these relationships prompted the Science Council study of science education in Canada.[35] Thus, the fourth category of knowledge represents the crux of a new direction envisioned for science education in Canada.

Just as this category of knowledge is intricately related to the third (characteristics and limitations of science), it is also closely associated with a fifth, concerning feelings.

5. Attitudes and interests have traditionally been set aside as a separate kind of learning. (However, it can be argued that in the minds of science students cognition is inseparable from affect.[36]) Therefore a fifth category of knowledge is proposed. Attitudes are developed in the home, in the community, and at school. They may be, for example, positive, negative, accepting, rejecting, valuing, showing awarenesss, or organizing a life outlook.[37,38]

Two extremes in attitude can be identified as having a very detrimental effect on the study of science and society. On the one hand, there are Canadians who are repulsed by anything scientific and thus, they refuse to acknowledge the productive contribution science and technology can make to the management of Canadian society. On the other hand, there are Canadians who suffer from the delusion called "scientism", the dogmatic belief that all social problems could be solved by science if the resources were available.[39,40,41,42] These two attitudes have been described by Schroeer as an allegiance to viewing the world from a holistic, or conversely, a mechanistic perspective.[43] A purely holistic person will surely disagree with

a purely mechanistic person over a decision concerning a science-related social issue. One's orientation (attitude) carries with it a wealth of values and assumptions, which may be said to form a person's ideology. People with differing ideologies will *perceive* a problem differently, and therefore will conceive of science's role differently.

Science teachers appreciate knowing what attitudes their students possess. However, it is difficult to achieve consensus on a conceptual definition of attitude. "Attitude" can have many meanings.[44,45] It is even more difficult to *assess* someone's attitude.[46] The subject of attitudes, however, falls outside the scope of this paper. For more information the reader is referred to the studies cited.

Summary

Consumers of science education learn different kinds of lessons from their science classes. Training, education, and miseducation develop in the areas of:

1) scientific knowledge;
2) scientific inquiry;
3) the characteristics and limitations of science;
4) the interrelationships of science and society; and
5) feelings or attitudes.

The proportion of training, education, and miseducation that high school graduates acquire depends in part on the student's experiences in science classes. While the subject matter studied is influenced by the home and community, the role of the teacher is a particularly important factor.[47,48] Curriculum materials by themselves can only influence positively or negatively a teacher's idea of what course content is appropriate, or what constitutes good science teaching.[49] It is simply naive to believe that content analysis of

curriculum guides and materials will describe what is actually learned by the students.

Researchers wanting to assess the impact of science instruction on students need to use evaluation techniques that move beyond the educational research habits of testing students with standardized instruments, of analyzing curriculum materials, and of amassing questionnaire responses. Other methods of inquiry more appropriate to the task exist; using qualitative data, and conducting ethnographic and philosophical analysis of classroom proceedings.[50,51,52]

Educators who wish to achieve a new direction for science education by enhancing the value placed on science and society content (the fourth category of knowledge), will need an appreciation of the interdependency of the community, the university, the teacher, and the curriculum materials. This homeostatic-like cluster will resist and reject small-scale tinkering. The entire system requires explicit attention.[53]

Furthermore, science education reformers must be aware of the interdependencies among the different kinds of knowledge. Learning to deal effectively with category four, science and society, assumes certain degrees of development in categories three and five. In turn, category three does not exist in isolation from categories one and two.

However, deciding what categories of knowledge should be taught is a hypothetical decision and therefore irrelevant, unless we consider the way in which Canadians will put their knowledge acquired to use. Of course, one's use of knowledge is contingent upon one's role in society.

B. Different Roles in Society

Not only do students develop different kinds of knowledge and misconceptions as a result of their science instruction, but as adults they

put that knowledge, or those misconceptions, to use in a number of different ways, depending upon the situations in which they find themselves. Canadians undertake a wide range of social roles. For the sake of discussion, it is convenient to divide these diverse roles into three groups:

1. *Professional scientists and technologists*: most often found in university departments of engineering, medicine and science; and in government and industrial R&D projects.

2. *Key decision makers*: specialists who, perhaps unexpectedly, make decisions on corporate boards, in government agencies, in political office, or on judicial panels.

3. *Citizens*: the general citizenry who try to make sense out of the messages from the advertising media; who try to cope with the scientific and technological advances in their supermarkets, their employment, their leisure, their health, and generally in the quality of their environment; and who are called upon to voice opinions on plebiscites or at public hearings.

Figure II.1 - Societal Roles

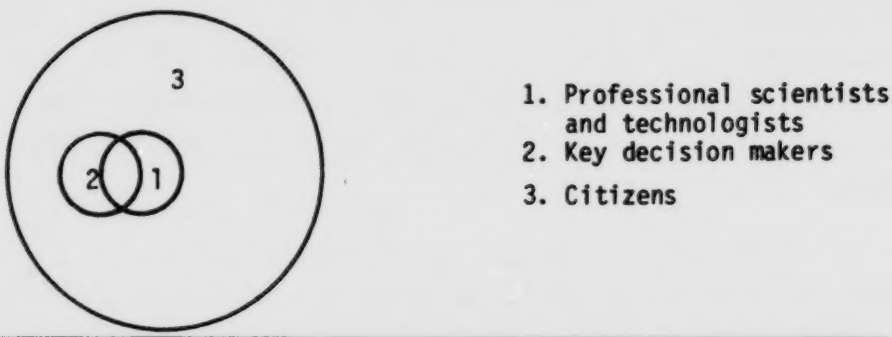


Figure II.1 illustrates the relationships among the three arbitrary categories.

By considering seriously the probable roles that high school graduates will assume during their lifetime, science educators will acquire a more realistic attitude toward science curricula. Personal, social and national relevance of scientific knowledge is reflected in

the different social roles played by consumers of science education. From the consumers' point of view, good science teaching means relevance in the preparation for their responsibilities: in their professional careers; as judicial, business, industrial, and governmental decision makers; and as citizens.

Professional Careers

An adequate pool of scientific and technological human resources is a high priority for any industrial nation. However this need may have overly influenced present Canadian science curricula. Consequently almost all students who enrol in science courses find themselves in pre-professional training. Scientific pre-professional training is an unrealistic and irrelevant goal for 90-95 per cent of high school students because only 5 to 10 per cent actually train for scientific or technological employment.

Nevertheless, this 5 to 10 per cent of high school students will be called upon to form a cadre of excellent Canadian scientists and technologists. Therefore, any good science program in Canadian schools must provide for pre-professional training.

In many Canadian schools, occupational training is a traditional goal in a number of subject fields. For example, students can develop technical trade skills in auto mechanics or develop secretarial knowledge in business education. Some of these programs are financed largely by federal agencies. A similar career program might be desirable in the area of science. It is certainly necessary that special science classes be offered for students who express a career preference for scientific or technological employment. These pre-professional science classes could be financed by appropriate federal and provincial agencies.

Judicial, Business, Industrial, and Governmental Decision Makers

In June 1980, the United States Supreme Court ruled that new forms of life created through genetic engineering can be patented. Canadian

judges are expected to apply Section 237 of the Criminal Code, relating to the breathalyzer test. In numerous Canadian cities, civil servants and municipal officials are setting standards for the disposal of radioactive waste. The future of hydrogen fuel is an issue discussed by some corporate boards. Large sums of money and international political power are at stake in the quest for alternate energy resources. And further, the Bayda Commission has made general recommendations concerning the development of a uranium industry in Saskatchewan.

As can be seen, crucial decisions are being made daily by people who are expected to consider scientific and technological knowledge along with the economic, political, and ethical implications. The role of key decision maker pervades Canadian society. This role, however, is not as clearly defined as the role of the professional scientist. Potential decision makers are less easily identified than are future scientists. However, key decision makers carry out a prominent function in determining the quality of Canadian society.

When deliberating on science-related social issues, decision makers must deal with the vital question:

> In which ways, or to what degree, are scientific knowledge and scientific methods useful in resolving science-based problems?

The answer is complex in that it varies with different problems. Given the limited scope of this paper, a thorough answer is not possible. Nonetheless the question must be foremost in the minds of those developing curricula with a science and society emphasis, as the following example illustrates.

A science and society emphasis would examine the methods scientists use in making a scientific decision. Reaching consensus on an observation, or picking a workable hypothesis, are typical examples of scientific decision making. Making decisions involves values; for

example, the value of suspending judgement until sufficient evidence is available (a subjective decision itself). However, in the "real world" of Canadian society, decisions must be made with much less information than a scientist would accept when making a scientific decision. Two historical examples illustrate this point. The decision to develop the steam engine did not wait for scientists to formulate hypotheses to describe and explain thermodynamic phenomena. The electrical industry blossomed before scientific circles reached consensus on electrical theory. At the very least, these examples illustrate how scientific decision making can be separate from social decision making. The point leads to a pragmatic generalization. "Thinking scientifically" is not necessarily the way to approach important social issues. Therefore, to train high school students to "think scientifically" does not necessarily prepare them to make good decisions in the arena of science-related social issues. Orpwood and Roberts make this same point in their discussion of a philosophical dimension to science and society curricula.[54]

The science education required by the judicial, industrial and governmental decision maker is an education in using scientific knowledge (present and future) to resolve science-related social problems. Decision-making techniques and wisdom do not develop unless they constitute the explicit content of science classes and examinations. Canadian science curricula currently lack these explicit objectives. Consequently, citizens who become key decision makers tend to perceive their science education as largely irrelevant to the important tasks they perform in Canadian society.

Let us consider in more detail a decision maker's science education in light of an important judicial decision: whether or not to grant patents on organisms produced by cell fusion techniques. What biochemical knowledge and inquiry techniques does a judge need in order to decide if patent laws pertain to man-made biological organisms? What understanding of the characteristics and limitations of scientific

knowledge should a judge have in order to compare and contrast scientific concepts with legal concepts? What insights into the interactions amongst science, technology and society would be most helpful to the judge? What judicial attitudes toward science and technology will result in a fair hearing? These questions illustrate science content that addresses the needs of key decision makers in Canadian society. (This viewpoint is obviously different from a preprofessional training perspective: what biological knowledge do students need to prepare for Biology 102?).

Good science teaching for future key decision makers involves carefully selected transitional subject matter plus concomitant experience in decision making related to that subject matter. In other words, if "knowledge is power" then responsible science education should not "abandon" students after they develop some "knowledge"; science education should go the second mile and have students inquire into the wise use of that "power".

In developing new curricula for this purpose, educators need to investigate and work toward an optimum balance amongst traditional subject matter, inquiry, the nature of science, and activities that simulate decision making on science-related issues.

Consider the concept of density for example. Different substances have different densities; less dense substances tend to rise while denser substances tend to settle. This statement is not necessarily a professional scientific statement, but it can be used to follow an argument (about air pollution, for instance) without understanding density as a scientist understands density; i.e., "the ratio of a body's mass to its volume." Proportional reasoning with "abstractions" such as mass and volume is not common among lay people. (The memorized algorithms that students use to solve D = M/V problems are manifestations of this.) Therefore, the usual quantitative approach to teaching density in Canadian schools turns out to be inappropriate for many students. However, there are other approaches to teaching about

density. Students could inquire into problems in their environment, in industry, or in law, in which the density of materials is obviously important. If no such applications can be found, then the curriculum developer may decide not to include density in the syllabus. (If however, there are compelling reasons for believing that the density of materials may be important in 2001, the curriculum developer may wish to include the concept.) The practical reasoning over the inclusion or exclusion of specific subject matter does *not* revolve around the prerequisite knowledge necessary to build a professional scientist's view of the world. Instead the practical reasoning focuses principally on which decisions in government, business, industry, and law are explicitly related to the scientific subject matter.

The Citizenry

The car radio carries a Chalk River scientist's voice to the ears of Alice and John Canuck. They hear that nuclear reactors emit less pollution than burning coal. This and other technical data support the scientist's opinion that it would be better to invest in nuclear power rather than coal for the production of electricity. Then the radio announcer interviews an Alberta MP who analyzes the entire nuclear process cycle and the entire coal process cycle of electricity production. The politician points out how the scientist has presented a limited viewpoint. The politician's conclusion contradicts the scientist's conclusion. The industrial and political decision makers apparently disagree. How do Alice and John make sense out of what they have just heard?

In general, Alice and John must cope with, or attempt to manage, their scientific and technological community. Whether they are deciding on the purchase of supermarket produce containing "artificial" additives, voting on a fluoridation plebiscite, or interpreting bulletins in the news media, they are trying to grapple with their complex and changing society.

Considering the full range of knowledge developed from science classes,

1) scientific knowledge,

2) scientific inquiry,

3) the characteristics and limitations of science,

4) the interrelationships of science and society, and

5) feelings or attitudes,

is there any one area that could help Alice and John more than the others? Probably not. Attitudes will have a great deal to do with how they interpret daily events, including whether or not they even listen to the Chalk River scientist or the Alberta MP. Of all the other types of knowledge, knowing about the interrelationships of science and society seems most germane to their personal needs. Also helpful is appreciating that science is limited to answering scientific questions (category three). This makes using science alone inappropriate for answering economic, ethical, or political questions, such as whether it would be better to invest in nuclear power or in coal-fired generating stations to produce electricity. Although science and technology by themselves cannot resolve the question, their subject matter and technical data are essential to an effective solution. Thus, categories one and two are involved to some extent in problem resolution.

Knowledge gained from categories one and two can help Alice and John in other ways. It can assist them, for example, in understanding and monitoring body functions, such as hormone balance and taking temperatures accurately, or in paying attention to labels such as reading the volume marked on shampoo bottles in order to decide which bottle contains more shampoo.

Alice and John need to draw on all areas of knowledge. An education balanced by instruction in each category is sometimes called an education toward "scientific literacy". A curriculum designed for

the citizen would be similar to the one described for the key decision maker. Many of the concerns of citizens require making decisions, even a decision on whether to read a newspaper article concerning scientific studies, or whether to pay attention to scientific information at all.

Some examples from a science and society curriculum illustrate the citizen/consumer viewpoint. The electromagnetic spectrum represents scientific concepts related to wave phenomena and energy. Corresponding to these concepts are technological implementations, each related to a social issue: for instance, radio waves and the case of a Saskatchewan Crown corporation jamming TV signals received by a private cable company; radar and the legality of speed-detectors and "fuzz busters"; microwaves and the responsibility to warn people with pace makers of possible dangers; infrared rays and the photographic detection of cancer, forest fires, and winter heat loss from houses; colour and the effects of applying laser technology to supermarket checkout automation; ultraviolet rays and the effect of sun tanning or the selection of protective lotions; X-rays and their biological effects (should lead aprons be worn in the dentist's chair?); gamma rays and problems of storing radioactive substances.

A number of teachers and curriculum developers have designed exciting and intellectually challenging consumer-oriented science materials and activities; for instance, *Properties of Matter, Technology & Society Report Series, Interdisciplinary Approaches to Chemistry*, some elective modules to ALCHEM, *Environmental Chemistry, Consumer Chemistry Learning Activity Packages*, and *Chemistry of Common Substances*.[55]

A consumer approach is not simply a return to "toaster science" - how do toasters work? - of past years. Instead, toasters could be used as concrete examples in the analysis of energy transfer to benefit man and in the analysis of the side effects of technology. The consumer context for instruction in this case would naturally demand a working knowledge of voltage, current, resistance, power and

energy. The consumer context would structure this information in a way that students would most likely apply or transfer their new knowledge to other, not yet invented gadgets. The curriculum would *not* structure the information to fit the professional scientist's conceptual framework.

If Alice and John Canuck had studied high school science focused on the consumer, then their ways of thinking might be different. For example, when talking with friends about public transportation and the need to eliminate automobile pollution, Alice and John might recall that when the automobile was first used it saved cities from a serious pollution problem caused by the large number of horses. (How different things would be today if the 19th century inventors had restricted themselves to pollution control devices for horses!) A good science and society curriculum would also have taught Alice and John different ways of looking at technological advance. Scientific and social perspectives would have been integrated using a societal context for structuring the curriculum,[56] thereby teaching Alice and John the important relationships between science and Canadian society. Studying the discipline of science without personal relevance is nonfunctional; studying daily events without scientific knowledge is superficial.[57]

Summary

In exploring the implications of adopting a science and society curriculum for Canadian high schools, one important aspect of that exploration is a realistic analysis of how this knowledge will be used by those who develop it. Canadian high school students will assume different responsibilities in society, and therefore their science education will be put to use according to these different roles: the intellectual scientist/technologist, the insightful key decision maker, and the informed citizen. Each of these social roles contributes to the quality of Canadian society. Because the informed citizen role represents the most pervasive responsibility in Canada, and because the

professional scientist's and the key decision maker's responsibilities are special cases of this pervasive responsibility, Canadians would be justified in demanding a science and society focus to their science education.

C. Different Ways of Using Scientific Knowledge

The preceding discussion of social roles revealed how knowledge is used differently for different social responsibilities. This societal perspective will be further supported by a short analysis of different ways of using scientific knowledge.

Greek myths had the pragmatic value of helping an ancient citizenry feel more comfortable in an environment fraught with trials and tribulations. Greeks *memorized* their rich mythology. They *associated* it with specific triumphs and catastrophes. They *applied* predescribed divine attributes to explain daily events. They made personal sense out of their real world by *interpreting* or judging it in terms of their understanding or misunderstanding of their mythical world. Thus, the ancient Greeks used their knowledge of mythology in a number of different ways. (This use was influenced of course by whether they were slaves, plebians, aristocrats, or priests.)

Certainly 20th century science, with its abstractions, mathematical language, and probabilistic "truth" claims, is a far cry from Greek mythology. Interestingly enough, science's abstract and mathematical lexicon has made it a "priesthood" unavailable to many lay people.[58,59,60] However, Greek mythology and modern science are similar in the sense that they both constitute knowledge systems. And just as the ancient Greeks used their knowledge system in diverse ways, so do 20th century Canadians.

Broudy (1969) has conceptualized four uses for scientific knowledge:

1. Replicative: rote memory

2. Associative: "the rearousal of learning by a wide range of clues that are related to the learning by the laws of association.

3. Applicative: "the solving of a problem by bringing it under a more general theoretical framework, for example, applying the principles of organic chemistry to the problem of air and water pollution or the principles of mechanics to designing new systems of transportation."[61]

4. Interpretive: making sense out of information or events, judging relevance, and "crap detecting".[62]

Broudy described the first three categories as largely limited to the responsibilities of the professional specialist. Not only must scientists and technologists become familiar with scientific theories (in the replicative and associative senses), but they must know the territory where, and problems to which, these theories are applied: that is, they must know how to translate scientific and technological theory into concrete examples of problem solving. To accomplish this, industry and government hire experts.

Broudy's fourth category, the interpretive use of knowledge, highlights the theme of this paper. Broudy argues strongly that a nation's citizenry will almost exclusively use its scientific knowledge in an interpretive manner. Whenever cabinet ministers, judges, corporate board members, or Alice and John Canuck think about science-related social problems, their knowledge of science, if it is used at all, will be used in an interpretive way. Their knowledge, whether accurate or mythical, will be used to make sense out of a wide variety of complex situations. Their knowledge may help them form opinions on matters in which science and technology are relevant. It may help them assimilate new information from newspapers, magazines, and television. It may also help them recognize a viable role in society for professional experts such as scientists and technologists.

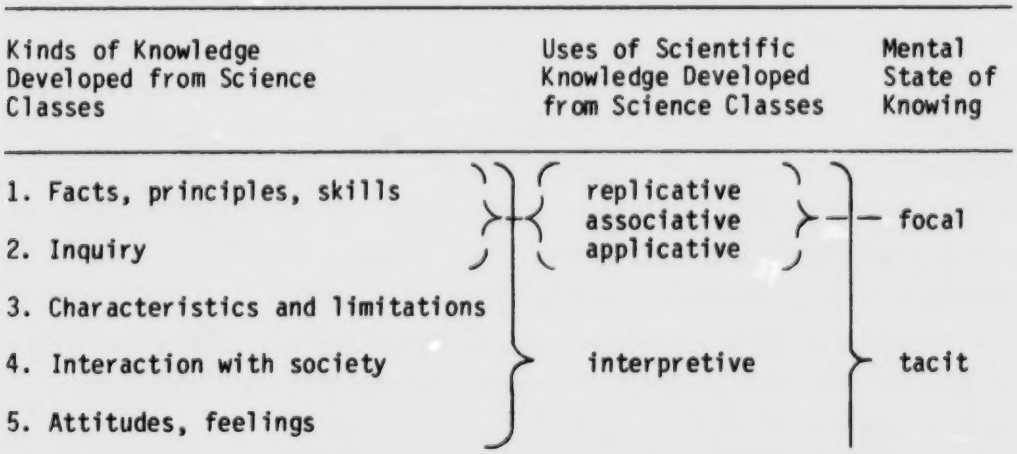
Broudy carries his analysis of knowledge further when he distinguishes between *focal knowing* and *tacit knowing*. For example, a student may likely forget subject matter details (genus and species, or Kepler's three laws), but he or she will still possess a generalized type of knowledge (scientists search for regularity). Broudy calls details "focal knowledge", while generalized notions are named "tacit knowledge" - an idea proposed in Polanyi's *Personal Knowledge*.[63] Focal knowledge is factual, and is usually overtly memorized in a relatively short time. Tacit knowledge, on the other hand, is implicit personal knowledge. (In terms of retention, focal knowledge tends to be easily forgotten, while tacit knowledge lingers on and on.) Tacit knowledge is the knowledge resulting from someone having made sense out of an event in his or her own terms; for instance, the impressions or misimpressions that students acquire about the characteristics and limitations of science or about the relationships between science and Canadian society.

It may be an oversimplification, but there seems to be an interesting relationship between the five categories of scientific knowledge described previously (page 16), and Broudy's analysis of knowledge. Figure II.2 illustrates the relationship as it pertains to the way science is traditionally taught. In current science instruction, categories three and four are usually implicit if dealt with at all. Thus, Canadians' tacit knowing is understandably riddled with misconceptions about science and about the relationship between science and Canadian society.[64] Sophisticated understanding in those areas of knowledge cannot be assured unless the implicit curriculum becomes explicit.[65]

The science and society orientation suggested in this paper requires that science instruction be balanced not only by incorporating the full range of areas of knowledge, but by ensuring that science instruction explicitly address the *interpretive* function of that knowledge, in a way that renders at least category four as *focal*

knowing. This new direction for Canadian science education is depicted in Figure II.3, a revision of Figure II.2. The difference between the figures lies in the increased sphere of the replicative, associative and applicative uses of knowledge, and in the increased sphere of focal knowing. This means that students would be involved in remembering and applying information and ideas from categories three and four (and perhaps category five). Students would discuss newspaper clippings, magazine articles, books, or TV programs concerning science and technology. They would study science fiction, biographies, and cases from the history of science and technology. As a result, they would learn about relationships among science, technology and Canadian society. For purposes of evaluating learning, students would be given an article or TV excerpt to which they would apply their knowledge by discussing, analyzing, or evaluating the article or excerpt with respect to the information and relationships studied in class.

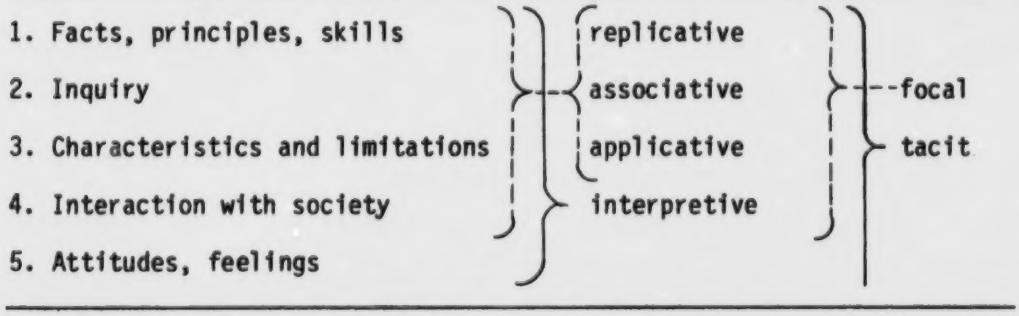
Figure II.2 - Current Science Instruction



In other words, science instruction would broaden its scope to make explicit (focal) the characteristics and limitations of science, the interaction between science and society, and perhaps also, one's feelings about science and technology. The overall consequence

for a *teacher* would be to shift from the present emphasis on the applicative use of scientific knowledge to an emphasis on the interpretive use of scientific knowledge. The potential consequence for *students* would be a shift from an impersonal, easily forgotten, rhetoric of conclusions, to a personally relevant inquiry into their "real" world. The potential effect on *Canadian society* would be a shift from a populace who failed to become professional scientists, to a citizenry informed enough to contribute to effective decision making and informed enough to make some sense out of their scientific- and technologically-oriented society.

Figure II.3 - Science and Society Instruction



Broudy summarizes his viewpoint by hypothesizing that general education presupposes an interpretive use of knowledge. A working familiarity with this interpretive use of knowledge will expedite any discussion concerning a science and society context for Canadian science teaching.

D. Decision Making for Science-related Social Issues

On 4 September 2003 AD, Mark Canuck goes to the store to get bread for his grandparents, Alice and John Canuck. Mark discovers that he has a

choice between bread baked with natural wheat and bread baked with "bioengineered" wheat. Which does he choose?

Typical of life's decisions, Mark's predicament is intellectually messy. Many societal considerations come into play in Mark's decision. *Science* could shed some light by explaining DNA alterations via cell fusion and describing the process of "nitrogen-fixation". *Technology* could instruct Mark on how wheat leaf cells are altered so they carry out the nitrogen-fixation normally found in the plant roots. Technology would also address the potential health hazards of "bioengineered" wheat. A *political* point of view might bring to Mark's attention the social disruptions in producing nations and in consuming nations caused by eliminating an entire line of fertilizers. Some investigating would reveal a history of astute political decisions concerning which research and development projects had been financed by the government over the years. A *business* or *economics* perspective would find Mark deciding which bread is the better buy. Technological data related to nutrition are germane. Marketing and advertising might affect his decision. (Will he detect the persuasion?) In addition, Mark might consider which industry he wants to support, an emerging one requiring new capital and offering new investment opportunities, or the old one desperately trying to make the best of its capital investment. Mark may not have heard about the landmark *legal* decisions that gave patent rights to industries producing things like "bioengineered" wheat. There are also a host of *ethical* questions for Mark. Should he support a scientific advancement that tampers with evolution? Does society sufficiently comprehend the long term and subtle effects of manipulating gene pools? Where does humanity stop in its quest to gain power and dominion over nature?

This description of buying a loaf of bread was painful in its excess, but instructive in its relevance to our discussion. How does any Canadian reach a decision on a social issue in which science plays

a key role? For a detailed answer, the reader is referred to books on decision-making strategies, for example Kurfman's *Developing Decision-Making Skills*;[66] and to curriculum materials specifically designed for making reasonable decisions, for example de Bono's *CoRT Thinking Lessons*[67] or the College Entrance Examination Board's *Deciding*.[68]

Mark Canuck's experience uncovers an important concept of decision making: a variety of social institutions and concerns impinge upon the decision maker. Figure II.4 summarizes many of these areas.* While the sources of influence listed in Figure II.4 appear to be discrete entities, the fact is they overlap; some more than others. The aim of proposing and labelling them is to clarify a multifarious, intellectually messy, "real life" situation. Figure II.4 serves to remind us of the diverse knowledge systems that are potential contributors to a person making sense out of a newspaper article, a TV news item, or an expert's opinion.

The various sources listed in Figure II.4 require brief descriptions to prevent misunderstanding. The intention is to describe them succinctly instead of defining them in a rigorous way. Science is the enterprise principally moved by curiosity to inquire empirically into natural phenomena for the purpose of describing and explaining. Technology (applied science, engineering etc.) is primarily concerned with improving everyday life by developing useful materials, equipment, and processes. Politics is the art or science of government; local, provincial, federal, and international. The military represents the armed forces. Economics encompasses business, industry, and government. A socio-political ideology refers to those values associated with a group's political persuasion (socialism and capitalism are obvious examples). Law comprises Canada's legal system, including law enforcement agencies. The fine arts refer to literature, music, drama,

---

* A comprehensive list of social institutions and concerns is, again, beyond the confines of this discussion.

and the visual arts etc. A whole range of normative judgements can be thought of as ethical considerations. (What ought to happen? How should one behave?) Religion is closely associated with ethics, but is more organized as a social institution. The last category, "others", is included as a reminder that the list is not complete.

Figure II.4 - Various Sources Impinging Upon Decision Making

One might think that a science and society curriculum should deal simultaneously with *all* facets of society outlined in Figure II.4. This seems naive, however, because not all areas are relevant to every issue. Thus, one approach to a science and society topic is to decide which social areas are relevant. This tactic will usually eliminate many areas from consideration. Unfortunately, eliminating pertinent areas contributes to mediocre decisions. This happens when people, alienated by science, reject its potential contribution to resolving social issues.

The next step in decision making would be to identify from which social domain the final decision should be made. In the cases of breathalyzer data and patent rights on recombinant DNA organisms, law had prime responsibility. Dropping the atomic bomb on Hiroshima was a political decision. Developing colour television was a technological decision. Each aspect of society (law, politics, and technology in

these examples) has its own knowledge base and its own tradition in decision making. Thus, the rules for making decisions differ significantly amongst lawyers, politicians, technologists and scientists.* This fundamental realization leads to two noteworthy points.

The first is illustrated in the booklet *Science and Political Decisions*.[69] In legislating lead pollution standards, British politicians worked within the rules of political decision making in Parliament. But they drew upon science, technology and economics explicitly, and perhaps socio-political ideologies implicitly. The politicians had to integrate scientific, technological and economic knowledge into the arena of politics. When integrating two or more knowledge systems, one system's rules must supersede the other system's rules.[70] In this example, knowledge from the subordinate systems (science, technology, and economics) is subjected to judgements of relevance, validity and reliability in terms of the *super*ordinate knowledge system (politics). Therefore, in resolving a large number of science-based social problems, scientific knowledge is necessarily subordinated by social considerations dictating the final decision. This does not mean scientific knowledge is ignored or lacks influence. It does mean, however, that scientific knowledge is put into a different context, and consequently is treated differently.

The second point follows logically from the first. A scientist cannot transplant a scientific argument into the realm of religion and be credible. Similarly, ideological arguments are not acceptable in scientific decision making. The Lysenko affair is a prime example.[71] Religious viewpoints such as the concept of creation cannot be grafted onto scientific knowledge and make sense in science. In sum, the knowledge systems of Canadian society (partially listed in Figure II.4):

---

* Granted, there are some important similarities to their rules. However, the significant differences are discussed here to highlight potential problems in making decisions on science-related issues.

- require different rules for making decisions;
- have different assumptions underlying each system;
- have different purposes in society; and
- view the world differently.

Therefore the credence of a scientist must change whenever he or she shifts from a scientific frame of reference to, say, an ethical or political frame of reference. This explains some of the frustrations felt by scientists who do not understand this relationship between science and the rest of society. Scientific and technological information may be sought by social agencies, however its relevance will have to conform, not to scientific norms, but to the norms of, for example, legal, ethical, or political thought. Thus, scientific knowledge may, to the annoyance of scientists, lose some of its character (such as its tentativeness based on suspended judgement) when it is used in another framework. This makes scientific knowledge susceptible to misuse or misinterpretation in other areas of society. This potential for abuse will be examined shortly.

Some significant implications for science teaching emerge from the foregoing discussion. Because a rational approach to resolving science-based social problems begins by identifying various aspects of society germane to the problem, science students will have to learn a simple way of identifying these social groups before embarking upon a study of the relationships between science and society. For example, Saskatchewan tenth graders studying *Science: A Way of Knowing*[72] are taught to identify the principal aims of politics, art, logic, economics, technology, religious faith, and science. Being able to identify simplified aims of various social groups allows students to analyze some "real life" situations with less confusion. It also presents them with the perspective of examining science as *one* of several legitimate social considerations.

Understandably, science teachers become overwhelmed by the rich diversity of knowledge systems involved in a science and society focus. It is easy to retreat within the well defined cloisters of the

discipline's rigours. But this need not happen as long as the relevant social areas are identified without examining them in too much depth. An in-depth analysis should be reserved for the scientific enterprise itself.

Take, for instance, the energy crisis. In a science and society curriculum, several social areas would be identified: a political component (national independence of consuming nations and international power of producing nations), an economic component (capital already invested in existing nuclear and hydro technology and the lack of capital for developing new forms of technology, e.g., solar and tidal power), an ethical component (reasonable life styles in terms of energy consumption), a socio-political ideological component (resource development paid for by the state, the consumer, or the corporations), a technological component (nuclear power stations and solar cell batteries), and a scientific component (nuclear decay, radiation, waste storage, acid rain, conservation and transformation of energy, the second law of thermodynamics, and principles of electricity). After identifying each component as contributing to the social issue, students would then turn their attention to the contributions of science. This inquiry into the function of science ensures that science would *not be isolated* from real life. In the students' eyes, science would be seen as interacting with society. The main point is that when discussing the relationships between science and society, teachers and students only need to *identify* social institutions (Figure II.4), they do not necessarily have to have extensive knowledge of, or be well versed in, the processes of those institutions. Of course in decision making, the more one understands each area, the better the ultimate decision will likely be. However in a science and society curriculum, the ultimate decision, while intriguing, is not the end product, but rather the vehicle for discussion.

In many cases when key decision makers and the general public deliberate upon social concerns, scientific knowledge is more often

misused than ignored. The federal cabinet minister's decision on an abortion bill illustrates this. Other familiar examples include: using a political argument to evaluate scientific data in a court of law; using the biological concept of natural selection as a justification for a particular socio-political ideology, "survival of the fittest"; using Einstein's relativity theory as a justification for accepting all viewpoints of ethics; and using the prestige of physical science inquiry techniques to justify dubious social, psychological and medical experiments. If such abuses of science are to be avoided in the future, then rational thinking about science-related societal concerns must rely heavily upon insightful "crap detectors".[73] Guided experiences in this intellectual activity would need to be characteristic of the study of science and Canadian society.

Science often *poses* the very questions that precipitate a social issue in the first place. Recombinant DNA research did that for ethics, politics, economics, and law.[74] The line of research forced decisions to be made in the public arena.

This scientific contribution to society leads us to the other side of the science and society question, and not discussed so far. How does society, with its many facets, contribute to decisions on what scientific research should be undertaken? What have scientists done in the past when the prime responsibility for a decision rested with them?

The problems of obtaining funding for scientific research reflect the control society exercises over decisions on what research should be done. For example, the Canadian policy of funding only "applied research" may lead to a serious depletion in the number of Canadian scientists involved in "basic research".[75] Society does influence the decisions made by scientists. One way students can learn about these influences is by playing the simulation game, "Noble Prize", in Unit 11 of *Science: A Way of Knowing*.[76]

Another example illustrates what happens when scientists take prime responsibility for a decision. Deciding whether or not to conduct recombinant DNA experiments was a *social* issue for which scientists assumed prime responsibility. Participants in that decision had a responsibility to make a "good" decision. This shows that scientists *do* have social responsibilities. An implication exists for science education. Whenever students inquire into decision making for science-related social issues, they need to examine the social responsibility of scientists. Mendelsohn has reviewed some key historical cases, and has suggested some specific values that could guide professional scientists in making responsible decisions.[77] The social responsibilities of scientists are discussed in most publications on science and society.[78] A current example is the debate over how to conduct certain kinds of cancer research. Scientists and technologists are apparently being influenced by political and economic facets of society.[79]

A social-issues approach to a science lesson brings with it specific expectations. Teachers must realize that the class will:

1) not resolve the issue, but will tentatively identify the role science might play; thus, there are no "right answers" in such lessons (contrary to traditional expectations for science classes);

2) learn scientific subject matter that is pertinent to the role science might play (There is no intention here to suggest which should come first in a lesson, the social issue or the science subject matter. Either sequence could occur, depending upon the particular context.);

3) learn characteristics and limitations of science by studying the interaction of science with other aspects of society; in other words, learning what can and cannot be done with science;

4) develop a personal view (tacit knowing) of science, based on the realities of Canadian society and not on myths;

5) practice making independent, critical and reasonable judgements, which may conflict with those of the teacher;

6) clarify the values that become important when the class attempts to make a decision on a science-based issue.

We began this section with a fictitious purchase of bread. But we never did find out which loaf of bread Mark chose, the natural or the "bioengineered". The reader deserves to know. Mark is four years old in 2003 AD. He can only reach the baker's bottom shelf. He bought the natural loaf because it happened to be stacked on the bottom shelf (Figure II.4, category "others").

Summary

Many facets of society contribute to decisions on social issues. Science is one. Conversely, different groups within society will influence the decisions that scientists make about their research.

When making a decision on a social issue, one should list the sectors of society that will influence the decision, and one should note the sector that has prime responsibility for that decision. Students can recognize the various social groups by studying their principal aims.

In a science class, equal treatment need not be given to all sectors of society that impinge upon a social issue. Science could receive an in-depth analysis including: pertinent traditional subject matter, pertinent characteristics and limitations of the enterprise, and the social responsibility of scientists.

Scientific knowledge can change in character when it is taken out of its original context and put into the context of some other sector of society. Out of context, scientific knowledge and methods are vulnerable to misuse. "Crap detecting" becomes the decision maker's survival tactic. Along the same lines, the credibility a

scientist earns in science will necessarily change in other areas of society, such as ethics or politics.

In one social role or another, all consumers of science education will use their knowledge of science to interpret their world and make decisions. Their world, Canadian society, is changing rapidly due to its interaction with science. A realistic awareness of this interaction will help consumers interpret their world and make decisions wisely.

III CHARACTERISTICS AND LIMITATIONS OF SCIENCE

Introduction

The aim of this section is to delineate some important characteristics and limitations of the scientific enterprise. Clarification of these areas is important if curriculum materials are to be developed that will facilitate the kind of science teaching described earlier.

Of the many issues related to teaching a science and society curriculum, one crucial topic stands out: the attributes and limits of scientific knowledge and scientific thinking. Canadian courts grapple with these limits everyday. Cases of impaired driving are but one illustration. Business, industry, and government run high risks of making mediocre decisions whenever a limitation of science is overlooked. The federal cabinet minister's approach to an abortion bill is a case in point. An uninformed citizenry cannot appreciate where the awesome power of science and technology legitimately stops. An unquestioned acceptance of a Chalk River scientist's economic-based decision to finance nuclear instead of coal energy, illustrates this point.

These examples support the importance of paying attention to the characteristics and limitations of science. However, a more graphic illustration was provided by my experience with a group of grade ten students in Saskatoon who were attempting to deal with the interaction of science and society. Their academic naiveté preempted a

distinction between scientific claims and religious and other claims. Their youthful gullibility encouraged a wide-scale adoption of the "its-not-what-you-say-but-who-you-are" posture. Before these students could realistically deal with any relationship between science and society, they had to learn about: a) the characteristics of science, and b) the limits to which science can be pushed when it interacts with other sectors of society.

In response to the Saskatoon experience, Reg Fleming and I developed a full year science course for grade ten which, among other objectives, focused students' attention on the attributes and limitations of science. The course, *Science: A Way of Knowing*[1] is described and evaluated elsewhere.*[2] The course is mentioned because its content includes many of the limitations of science. It is referred to in order to discuss the characteristics and limitations of science in the context of actually teaching them to average grade ten students.

"Science and society" books invariably deal with the characteristics and limitations of science before considering the interaction between science and society.[3-7] While characteristics and limitations of science are clarified below, there is no pretense of exploring them, rigorously and thoroughly.

The Nature of Science

Philosophers of science are in continual debate about the nature of science. This paper does not provide an analysis of that debate. However, the reader should be aware that, in setting out one account of the characteristics and limitations of science, this paper is taking a "position" in that debate. I make no apology for the fact that *Science: A Way of Knowing* harbours a bias toward Schwab[8] and Kuhn.[9]

---

* A copy of the table of contents of *Science: A Way of Knowing* is found in the Appendix.

The Principal Aim of Science

The goals of individual scientists vary from prestige, to helping humanity, to the pursuit of "truth". However, the collective consciousness of the scientific community recognizes the satisfaction of curiosity as its principal goal. Science is limited by this aim. Science cannot be stretched beyond its function of satisfying curiosity about natural phenomena. Beyond that function, and beyond natural phenomena, one would look to another sector of society, such as technology, religion, or perhaps the pseudo-sciences.

Science and Technology

This "principal aim of science" will help us to make a distinction between science and technology. If a description or an explanation about some natural phenomenon is required, a scientist would be consulted. If a way to solve a problem is needed, for example to test pharmaceutical drugs, your money would be better invested by paying someone who would draw heavily upon scientific knowledge, but who would also apply a body of practical knowledge unique to the problem at hand.

Technology is the application of science. Technology is used principally in improving human welfare through the development of materials, equipment and processes that serve specific purposes. "Science describes the world as it is, technology remakes that world to serve human desires."[10] Cancer research and putting people on the moon are largely technological programs. Obviously some activities belong to a "grey" area between science and technology. One person can be both a scientist and a technologist.

Science and technology interact. Technology supplies science with new phenomena (such as the steam engine) and with new or improved instruments. Thus science is limited by the available technology. On the other hand, science supplies technology with descriptions and explanations about the natural world.

The distinction between the two kinds of activities is a prerequisite to clear thinking by key decision makers or by the general public. It sharpens the blade of "crap detectors" in matters pertaining to science-based problems.11

> "Many of the major economic, political, social, scientific, and personal decisions for the rest of this century depend upon a clear understanding of technology, its potential and direction."12

Most Canadians experience science indirectly, via the technological implementation of science. For them, technology acts as a bridge between science and society.* No wonder students find science classes foreign to everyday life. Science is an abstraction of their daily lives while technology is the concrete experience in their daily lives. Orpwood and Roberts describe how technology fits into a science course with a science and society emphasis.13

In *Science: A Way of Knowing*, initially students learn the distinction between science and technology by classifying a list of questions according to which area they belong. From then on, science and technology are explictly treated as two different areas.

The Myth of the Scientific Method

A general description of what scientists do can be helpful to students. Unfortunately however, students can easily develop the impression (tacit knowledge) that the "five steps of the scientific method" prescribe a successful, puzzle-solving and knowledge-generation process used by all scientists. The concept of "the scientific method" encourages scientism, or at best a naive view of science. Careful analysis

---

*Strictly speaking, we should use the extended phrase "the interaction of science, technology, and society" to express the special relationship technology has with science. However, as long as it is clear in our minds that technology is a legitimate sector of society, the phrase "science and society" works well. When we speak of an activity that encompasses both science and technology, we should use both terms to avoid confusion.

of the history of science and modern practices shows that scientists do not use the so-called "scientific method." Its existence is largely mythical.

When dealing with science-based social problems, it is most important to view science in a realistic, rather than in a naive, way. Otherwise the scientific enterprise is expected to supply advice or results, it cannot possibly furnish.

In *Science: A Way of Knowing*, "the scientific method" is presented as a myth. Students discuss this myth on several occasions.

Facts

When we claim that something is a "scientific fact" we expect less argument than when we claim something is an "ethical fact". Somehow we associate more validity with a scientific fact and as a consequence, often have the "wool pulled over our eyes."

The British curriculum program *Science in Society*,[14] devotes an entire unit to facts, as their way of dealing with the characteristics and limitations of science. Goldstein and Goldstein in *How We Know* describe the process by which scientists accept facts.[15] A consensus must be achieved before something is considered a scientific fact. Understandably then, disagreements over facts can arise. It turns out that scientific facts are generally "theory laden".

> "The facts we select are in large part determined by some theory or preconception as to what facts are important and what facts are not."[16]

Scientists can sharply disagree over which facts are significant. Goldstein and Golstein think of facts as:

> "... having a man-made component rather than being purely objective facts of an already existing nature, although they can be as tangible and inescapable as such other man-made objects as 10-ton trucks."[17]

The myth that science is a collection of experimentally verifiable facts arranged in an orderly manner and that all scientists agree on these facts, prohibits a realistic view of science. Such a description is more fitting of a telephone book than it is of science.

The limitation of scientific facts is a simple but important one: facts are useful only to the extent to which people agree to use them. The Supreme Court of Canada did not agree to use the "fact" that measurements taken by instruments contain inherent margins of error. Attitudes play a major part in deciding on the significance of a scientific fact. A person biased toward a mechanistic view of the world will surely have difficulty agreeing on significance with a holistically-oriented person.

It is circular reasoning to claim something is a fact because many scientists accept it as such. Those scientists were trained to view the world in the same way in the first place. Consensus does not mean irrefutable truth. But consensus is useful.

When science interacts with other facets of society, science finds itself in unfamiliar territory. A scientific fact takes on different significance when it moves from science to another sector of society, from one context to another. As discussed previously, the significance of scientific thinking is subordinated by the sector of society with which science is interacting. This state of affairs is originally confusing for grade ten students because they have been taught that a fact is a fact, no matter what.

Scientific Logic

Scientists use logical rules when making scientific statements. Therefore, to understand scientific thinking we need to know something about these rules. Unit 3 in *Science: A Way of Knowing* teaches truth-functional analysis, classical fallacies of argument (to sharpen the blades of "crap detectors"), and a comparison of deductive and inductive reasoning.

The rules for inductive reasoning are different from the rules for deductive reasoning. Creating an hypothesis, or generalizing a set of observations into a law are examples of inductive reasoning. Using the hypothesis or law to predict what we should observe in an experiment is deductive reasoning.

Scientific predictions are based on the rules of deduction, whereas scientific arguments of induction are based on judgements most accurately described, I think, as faith. The notion that scientific logic is either right or wrong is a myth. Scientific *deduction* is valid or invalid. But believing a scientific *inductive* argument depends on a number of somewhat subjective decisions. And here lies a major limitation to scientific thinking. An example from technology should clarify the point.

The vials used in the Borkenstein breathalyzer test come from a factory. A police analyst checks a batch to ensure quality control. The analyst takes a sample of vials, and carries out a chemical test on each one. But how many vials in the batch need to be tested before we are to believe that the entire batch is suitable? If 5 per cent are acceptable, do we conclude (by induction) that they are all acceptable? There are no right or wrong answers, just conventions and faith. What if one vial in a sample of ten is not suitable? For the Borkenstein test, the whole batch would be returned. However in some areas of science (interpreting peaks, for instance), one poor observation in ten could be quite permissible. Who is to decide? In science, usually a consensus exists among the practitioners.

Thus, scientific *inductive* logic depends on a consensus of scientists. Scientific knowledge is logically limited to that consensus.

One of the cases of induction studied in *Science: A Way of Knowing* is Piaget's theory of cognitive development (Unit 7). Students decide how many observations are needed before they personally can have

faith in a generalization. A comparison between sample size in psychology and in chemistry shows why chemists have more faith in molecules than psychologists have in formal operational reasoning. A consensus is easier with larger sample sizes.

The process of scientific deduction may be illustrated by means of the Borkenstein breathalyzer. Assuming that all the required experimental conditions are met, the analyst *deduces* from a reading of 60 that 100 mL of a blood sample contains between 50 and 70 mg of alcohol. All the scientific laws and theories upon which the technological device was constructed combine to predict that conclusion.

The fact that we have faith in these laws and theories means that we will use them, it does not mean they are absolutely correct. This is the spirit in which Canadians must use scientific thinking in a social issue, if they are realistic.

Science as Imagination

Scientific knowledge has been compared to maps.[18] Maps are very useful for specific purposes. Take the map of Saskatchewan for instance. If one wanted to drive to Warman, Saskatchewan, a road map might give the following information: its location, what highways lead to it, the category of highway, the presence of campsites, the approximate population, and the presence or absence of an international airport. Some maps could furnish information on the soil conditions, types of vegetation found near the town, and elevation above sea level.

However, with all the data available from maps, one would have no idea: what Warman looks like, what the real estate conditions are, what a proposed uranium refinery did to split the town into factions.

If one is interested in the real Warman, there is no substitute for being there. But if one is satisfied with a schematic

representation, maps are useful. Maps are representations of reality, with much of reality left out.

And so it is with scientific knowledge. Models and classification schemes, equations and hypotheses, concepts and facts, all are useful representations of reality. They are the results of man's imagination interacting with reality. They are not reality itself. Sir Arthur Eddington is known for his expression:

> "We have found a strange foot-print on the shores of the unknown. We have devised profound theories, one after another, to account for its origin. At last we have succeeded in reconstructing the creature that made the footprint. And Lo! It is our own."

This view of science challenges the dogmatic belief that science is objective reality and ultimate truth.

In Unit 2 of *Science: A Way of Knowing*, students distinguish between "what is really out there" and "what you think is there." The original lesson deals with visual illusions, but later students apply this distinction to scientific knowledge itself, by comparing the discovery of gold with the discovery of a scientific theory.

A specific illustration may clarify the issue. Suppose we are confronted with the "death with dignity" issue. If we cite scientific knowledge to support a point, we are not alluding to nature's reality, but to a man-made viewpoint representing nature's reality. At what point is someone dead? Scientific knowledge cannot arbitrate what is reality. It cannot define death. But it can be used as a source of information when determining the criteria of death. If we cite an ethical position to support a point concerning death with dignity, we easily recognize it as a product of human thought. Why is it so difficult to see science in the same light? Perhaps we have been taught the myth that science is objective reality itself.

This idea may seem philosophical. Nevertheless, it is a stumbling block to clear thinking about science-based social issues. Grade ten students of average ability come to appreciate the idea by constantly assessing the importance of imagination in the work of scientists, and by noting how different kinds of imagination lead to different scientific ideas. An overemphasis on science as a product of human imagination helps students realize that scientific knowledge is metaphorical, like a road map.

Science as a Cultural Phenomenon

The cultural milieu has long been recognized as a social influence on scientific thought. Modern science is a Western phenomenon.20 Those who have introduced science or technology into a community in a developing nation, or those who have attempted to teach science to children raised in those communities will know the full impact of that statement. For instance, many cultures do not believe as we do in the value of relating events in terms of the relationship between cause and effect. We have been steeped in the scientific tradition of a mechanistic view of the world,21 while others have learned "witchcraft", an equally effective way for them to relate to their world.22

Thus, science must be viewed as a social phenomenon in which people are trained to view the world in certain ways. These world views are bound by traditional habits of perceiving and thinking. Art and visual illusions can illustrate how we have been taught to perceive in certain ways. What is a visual illusion in one culture is not necessarily a visual illusion in another. *Basically, we see what we have been taught to see*. In other words, we see as much with our brain as we do with our eyes.

Students are introduced to this idea in Unit 2 of *Science: A Way of Knowing*. They study visual illusions and eventually discuss the question, "what is the relationship between a scientist's education and the ideas he or she comes up with in his or her work?" In Unit 7, students use this relationship to make sense out of why Canadian

medicine is based on scientific research while acupuncture is based on a completely different perception of the human body. (There are no experiments with yin and yang.) The idea that we see what we have been taught to see, supports students when they first try to observe a cell through a microscope. They have difficulty perceiving a cell because they have not been taught to conceive of a cell.

Students in the *Science: A Way of Knowing* course come to expect that scientists with different educational backgrounds will arrive at different, and perhaps conflicting, theories. This human component of scientific knowledge puts science more on an equal footing with economics, religion and politics, for example. This equal footing is important in clarifying relationships between science and Canadian society.

If in a deliberation of a political problem a scientific classification scheme were to be used, the people involved should recognize the arbitrary nature of the scheme.23 The decision to use the scientific scheme cannot be made with the idea that the scheme is true, or that it is more valid than schemes from other areas of society. Instead, the decision must be made on the basis that the scheme may be helpful in the political sphere of problem solving.

When viewed as a cultural phenomenon, science is seen as having human character. There is an obvious limitation. Science is limited by the human characteristics of those creating and extending its knowledge, and therefore science is affected by human foibles such as fads, falsifying, dogmatism, nationalism, and male chauvinism.

Decision Making in Science

We have seen that consensus plays a large role in science. This means that scientists are constantly making decisions. For example, how to set up an experiment, or which hypothesis is best.

One basic ingredient of decision making is the data used. The validity and reliability of the data must be considered before a rational decision can be made. How valid and how reliable must the data be before a scientist acts on them? Tradition and faith usually answer this question for a scientist. No wonder some people outside of science become impatient with the apparent timidity of scientists who will not take a position on a social issue because according to scientific standards the data are insufficient in number, validity, or reliability. The traditions for decision making in science are different from those in other facets of society. This characteristic is another limitation of science.

Science: A Way of Knowing introduces decision making to students in a political context. Students begin to evaluate the reliability and validity of data. This skill is applied to scientific thinking, for example when studying the theory of evolution and the data upon which it is based.

Tentativeness of Scientific Knowledge

Different scientists bring differing imaginations and conceptualizations to bear on scientific experiments and ideas. Technology continually improves scientific instrumentation. This leads to new observations, some of which may conflict with accepted scientific knowledge. Consensus arbitrates what is acceptable. These attributes of science explain why its history is characterized by change. Generally speaking, scientific knowledge is in constant flux. This characteristic contradicts the myth that science is a rhetoric of conclusions.

The tentativeness of science is a major limitation.[24] When other branches of society look to science for ideas in resolving a societal problem, they must expect those ideas to change from time to time. Scientific information alters in substance or significance, depending on the current consensus among scientists. It is frustrating to government agencies, for instance, when scientific and technological findings contradict earlier findings, which had been used as criteria

in a regulation. If the agency expected science to offer unalterable information, the agency's unrealistic perspective would likely have rendered their original decision mediocre.

Tentativeness pervades *Science: A Way of Knowing*. Numerous examples of changed scientific ideas prepare students to view current textbook knowledge as tentative, even though it is not presented as tentative in the text.

Assumptions Underlying Science

Every knowledge system rests on unprovable assumptions. Science is no exception. Although the phrase "basic assumption" evades precise definition, several examples from *Science: A Way of Knowing* illustrate its meaning.

Scientists assume that nature acts in a consistent manner with respect to time (over billions of years), with respect to scale (molecular to interstellar), and with respect to place (any place in the universe).[25] Scientists also assume that all effects have explainable causes, that experimental results are meaningless unless they can be verified independently, and that nature is susceptible to human ordering and understanding.[26] Physical scientists, in particular, assume that nature can be explained in mathematical terms. Einstein made an assumption when he said he thought nature did not play dice.

The relevance of these assumptions to science and Canadian society curricula is two-fold. First of all, the assumptions of science can be identified and compared with the assumptions of other knowledge systems, such as religion. This is done in Unit 9D of *Science: A Way of Knowing*, when comparing the theory of evolution with a concept of creation. By noting fundamental differences in the principal aims and basic assumptions of the two areas, the limits of both science and religion are clearly defined for students. This clarification almost eliminates the conflict that surrounds the evolution versus creation issue in biology classes.

The second point is more logical in nature. Decisions and arguments in science cannot help but be based on the assumptions underlying the scientific knowledge system. Similarly with other knowledge systems of society. When science interacts with another facet of society such as politics, it would be ludicrous to mix a scientific argument with a political argument, because science and politics are based on different, and perhaps conflicting, sets of assumptions. It would be like "adding apples and oranges".

There *are* valid ways to use scientific thinking in political affairs. However, one must realize at the time which set of assumptions, or which knowledge system, will be the most important, the superordinate one.* They cannot share equal importance.

The assumptions underlying science create a realistic limitation. Science cannot logically be used beyond these assumptions. To do so is to abuse scientific knowledge and to confuse those concerned. Consumer beware!

Santayana's popular quip on the empiricist reveals a critical assumption: "The empiricist thinks he believes only what he sees, but he is much better at believing than seeing."

Science and Values

Like any human endeavour, science is imbued with values.[27] These need not be repeated here. The Educational Policies Commission of the National Education Association in the United States listed the following values as the characteristics of rational thought most easily identified with science:[28]

- longing to know and understand,
- questioning of all things,
- search for data and their meaning,
- demand for verification,
- respect for logic,

---

* The reader is referred to the discussion on the superordinate and subordinate roles of science, page 43.

- consideration of premises, and
- consideration of consequences.

The "Project Synthesis" Inquiry Group described values as safeguards and customs of inquiry.[29] These included: open-mindedness, skepticism, criticalness, commitment to accuracy, integrity, reliance upon verifiable facts for conclusions, and open communication.

Kilbourn's analysis of science curricula revealed a fundamental set of implicit values that teaches students a mechanistic view of nature, the "nature runs like a well ordered clock" simile.[30] This scientific world view places a high value on cause and effect reasoning (action by contact in linear time), reductionism (reducing complex situations into discrete components, and believing the whole equals the sum of the parts), and linear thinking (as opposed to lateral thinking).

Scientific values have been called "characteristics", "virtues", "criteria", "attitudes", "safeguards and customs", and "world views". Whatever their label, values are recognized by scientists as highly desirable but seldom attained. This lack of ultimate success in attaining desirable goals reflects the human character of the scientific enterprise.

In decision making, values and facts are of equal importance; values may even be more important. Values guide decisions. Because scientists are constantly making decisions, they are constantly being guided by values. Scientists utilize both values and scientific knowledge when making a scientific decision.

What happens when a decision must be made outside of the scientific domain? If a scientist is asked to contribute to the resolution of societal problems by serving on a jury or on a board of inquiry for instance, should that scientist be guided by scientific values, ethical values, or judicial values? The answer to this puzzle lies in the realm of wisdom. A wise person decides which set of values

is most appropriate for a given social issue. Scientific values are not necessarily appropriate for every societal problem.

Several areas of society share with science the set of values called "rational inquiry". Although we usually associate the safeguards and customs of inquiry with the sciences, these values apply to some social areas beyond the sphere of science. Thus when we use rational inquiry to make decisions in the public sector, it does not mean we are acting in a scientific manner; it simply means we are acting according to the safeguards and customs of rational inquiry.31

If a wise person decides which set of values is most appropriate for a given societal issue (as suggested above), then that person must have been aware of his or her values. The process of becoming aware of values is called "values clarification". Some science educators argue that values clarification should be a major goal of science instruction, especially when studying science-related social issues.32,33,34 We shall return to this point.

One consequence of the interaction of science with society, especially the technological implementation of science, is the social problems it creates, for example legislative, economic, judicial, and ethical problems to name a few. The way we perceive these problems depends upon our values. Therefore when we study the interaction of science and society, we unavoidably become involved with values; values associated with science *and* values outside the domain of science. Science and technology can force us to reinterpret our old values or to form new ones. Whenever key decision makers and informed citizens become involved with the interaction between science and society, usually they can act more wisely the more they clarify their values.

Values clarification is a natural and rational feature of studying the relationships between science and society. Not only do students clarify their own values, but they learn to recognize the

values of others. From the viewpoint of a consumer of science education, clarifying values is particularly relevant in coping with a scientific and technological society. In terms of different kinds of knowledge and different uses of knowledge, values clarification belongs in categories three, four and five, and relates to transforming tacit knowledge into focal knowledge. (See Figure II.3, page 38.)

"Teaching science with a values focus provides students with a means for *interpreting* what they have learned within their own experiences."[35] (Italics mine.) Hurd sees the goal of values clarification as developing a value sensitivity for studying the interaction of science, technology, and society. Some of his specific objectives are germane to the limitations of science: a) to understand that valuing is also a way of knowing, b) to appreciate that there are aesthetic answers to human problems as well as scientific answers, and c) to go beyond the description of facts and consider how they may best serve people, an explicit study of the interaction of science and society.

In a 1976 lecture series, "Values and Science: A Critical Reassessment", Harvard professor Everett Mendelsohn showed how modern scientific values were developed and shaped by a 17th-century, western European society.[36] Using the atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki as a case study, Mendelsohn demonstrated the inadequacy of some basic scientific values and attitudes. He suggested four values that could help science interact congenially and thoughtfully with the rest of society:

1. Modesty: the arrogance of contemporary science must be replaced by modesty. Conscious choices within science should address the social elements involved.
2. Accessibility: science must be accessible to the general public in terms of understanding the enterprise (demystifying its knowledge), participating in important decisions (directions that research should take), and entering its professional ranks (American science has always been [predominantly] white, male, and middle class).

3. Consideration of nonviolent, noncoercive and nonmanipulative research: an oath similar to the Hippocratic oath of physicians would transform the relationship between science and society.
4. Harmony with nature: concern with the long-term effects of tampering with nature.

These are the values which can underlie a science and society curriculum. They are the values whose adoption can lead Canadians toward a peaceful and prosperous future.

IV CONCLUSION

This discussion paper began by briefly examining the Borkenstein breathalyzer. This led to speculation on where people like judges develop a literacy about science and the wisdom for utilizing scientific thought. This in turn focused attention on teaching about the interaction among science, technology, and society. The need for science and society curricula has been expressed nationally in Canada, and internationally in Australia, Britain, and the United States, and by UNESCO.

Science education does not have a monopoly on the topic, however. Science and society sessions are held at Learned Societies meetings across Canada, and were held at the 1980 Canadian Studies conference in Peterborough, Ontario. In the United States, the National Council for the Social Studies published *Science and Society: Knowing, Teaching, Learning*[1] in which some of the major ideas found in this paper are discussed.

A science and society curriculum views science as a cultural phenomenon and within a social context. Even scientific theories, laws, and facts "contain a more or less culturally conditioned component."[2] One theme of this paper is the subjective elements of science: for instance, its notion of reality; its reliance on human imagination; and its use of the decision-making process called consensus, which in turn is based on commonly shared, but nevertheless subjective, criteria, values, assumptions, and faith.

However, before dealing with these characteristics and limitations of science *in terms of legitimate class content*, a context for the discussion was required. The general context adopted was the concern for the consumer of science education. More specifically we explored: different kinds of scientific knowledge "learned" in science classrooms, different social roles that students would assume as adults, and the different ways they would use their scientific knowledge. Special consideration was given to decision making for science-related issues.

At the Halifax International Symposium on World Trends in Science Education, the lead speaker, Fletcher Watson, emphasized that decision making must be the crucial element of future curricula:

> "... not only do we wish the students to 'know that ...,' and know 'how we know that ...,' but also know 'what to do after knowing that ...'."3

Decision making is guided by values. Hurd's point complements Watson's idea:

> "Science provides knowledge; technology provides ways of using this knowledge; and our value concepts guide what we ought to do with both."4

Wisdom is needed in exercising the power of scientific knowledge, not only as a social responsibility of key decision makers, such as politicians and business people, but as informed citizens and professional scientists or technologists. The personal *interpretation* of nature and one's society is the highest priority for the scientifically literate citizen.

SCIENCE: A WAY OF KNOWING
A Tentative Table of Contents

Section I DIFFERENT WAYS YOUR COMMUNITY KNOWS
What are some different and important ways your community gets its knowledge and uses it?

Unit 1	Politics	Experience: Dangerous Parallel (simulation)
Unit 2	Art	Experience: Readings, "Visual perception" (film), projects
Unit 3	Philosophy	Experience: Logic, fallacious reasoning, analysis of ads
Unit 4	Economics	Experience: Reading, project (case study)
Unit 5	Technology	Experience: Reading, Population (simulation)
Unit 6	Religion	Experience: Project (interview)

Section II SCIENCE -- ONE WAY OF KNOWING
What is science really all about?

Unit 7 Observations and Theories: It's All In Your Mind
Experience: a psychological investigation of our minds (labs, reading, video tapes, activities with children)

Unit 8 The Scientist: His Aims, His Tactics and Strategies, His Created Knowledge
Experience: Discovery of the Halogen Elements (case study)

Unit 9 The Mental Tools of a Scientist

- Unit 9A Observations, Laws, Hypotheses, Theories and Models
- Unit 9B Doing Some Science
- Unit 9C Doing Some More Science
- Unit 9D Evolution in Perspective

Unit 10 Putting It All Together: The Scientist and His World
Experience: The Cells of Life (case study)

Section III THE INTERACTION OF SCIENCE AND SOCIETY
Another look at your community: How does it affect science, and how is it affected by science?

Unit 11 Science and Society
Experience: Noble Prize (simulation), film

Appendices Activities Worth Doing (readings, tapes, interviews, case studies)

Notes

I. Rethinking the Goals of Science Education

1. James E. Page, *A Canadian Context for Science Education*, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979.

2. Paul Hurd, *New Directions in Teaching Secondary School Science*, Rand McNally, Chicago, Ill., 1969.

3. Paul Hurd, "Scientific Enlightenment for an Age of Science," *The Science Teacher*, vol. 37, January 1970, pp. 27-30.

4. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching," *The Science Teacher*, vol. 42, February 1975, pp. 27-30; Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1970.

5. Fletcher G. Watson, "Science Education for Survival," in *World Trends in Science Teaching*, ed. Charles McFadden, Atlantic Institute of Education, Halifax, NS, 1980, p. 6 .

6. Association for Science Education, *Alternatives for Science Education*, Association for Science Education, Hatfield, UK, 1979; Committee on the Teaching of Science, International Council of Science Unions, Newsletter No. 5, Malvern College, Malvern, UK, August 1980.

7. David T. Suzuki, "Science should start with an R," *Macleans*, 21 January 1980, p. 4.

8. James E. Page, *op. cit.*

9. Paul Hurd, 1975, *op. cit.*

10. Graham W.F. Orpwood and Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s," *Orbit*, no. 51, February 1980, pp. 21-25.

11. Glen S. Aikenhead, "An Inventory of Objectives Concerning: Processes of Science, the Nature of Science, and the Social Aspects of Science," *The Accelerator*, vol. 8, Spring 1974, pp. 2-13.

12. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer, and James T. Robinson, *Inquiry Group Report. Phase I. Desired States*, Unpublished report prepared for Project Synthesis, School of Education, University of Colorado, Boulder, Colo., 1978.

13. Glen S. Aikenhead and Reg W. Fleming, *Science: A Way of Knowing*, Department of Curriculum Studies, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 1975.

II. The Consumer of Science Education

1. Leo E. Klopfer, "The Evaluation of Learning in Science," in *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning* eds. Dr. Bloom *et. al.*, McGraw-Hill, New York, 1971.

2. Leo E. Klopfer, "A Structure for the Affective Domain in Relation to Science Education," *Science Education*, vol. 60, July-September 1976, pp. 299-312.

3. Glen S. Aikenhead, "Consonance Among Cognition, the Nature of Science, and Science Education: Towards a Theoretical Framework," Paper presented to the 26th National Convention of the National Science Teachers Association, Washington, DC, April 1978.

4. Maurice Belanger, "Methodologies of Educational Research in Science and Mathematics," *Review of Educational Research*, vol. 34, June 1964, p. 384.

5. Leo E. Klopfer, "The Teaching of Science and the History of Science," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 6, January 1969, pp. 87-95.

6. Michael Scriven, "The Methodology of Evaluation," in *Perspectives of Curriculum Evaluation*, ed. Ralph Tyler *et. al.*, AERA Monograph 1, Rand McNally, Chicago, Ill., 1967, p. 54.

7. Wayne W. Welch, "Curriculum Evaluation," *Review of Educational Research*, vol. 39, October 1969, p. 430.

8. Jerome S. Bruner, *The Process of Education*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1960.

9. Jerome S. Bruner, "The Process of Education Reconsidered," in *Dare to Care/Dare to Act*, ed. Robert R. Leeper, Association for Supervision and Curriculum Development, Washington, DC, 1971.

10. Audrey B. Champagne, Leo E. Klopfer, and John H. Anderson, *Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics*, LRDC, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pa., 1979.

11. Leo E. Klopfer, 1976, *op. cit.*

12. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer, and James T. Robinson, "The Role of Inquiry in Science Education: Analysis and

Recommendations," A paper presented at the annual meeting of the American Association for the Advancement of Science, San Francisco, Calif., January 1980.

13. *Ibid.*

14. Joseph J. Schwab, "The Teaching of Science and Enquiry," in *The Teaching of Science*, eds. J. Schwab and P. Brandwein, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

15. *Ibid.*

16. Glen S. Aikenhead, "The Measurement of Knowledge About Science and Scientists: An Investigation into the Development of Instruments for Formative Evaluation," Doctoral Thesis, Harvard University, Cambridge, Mass., 1972.

17. Glen S. Aikenhead, "Learning About the Scientific Enterprise in Saskatchewan High School Chemistry Classes: An Evaluation," *Saskatchewan Journal of Educational Research and Development*, vol. 5, Spring 1975, pp. 4-29.

18. Willard W. Korth, "Test Every Senior Project: Understanding the Social Aspects of Science," A paper presented at the 42nd meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Pasadena, Calif., February 1969.

19. R.G.E. Mitias, "Concepts of Science and Scientists Among College Students," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 7, June 1970, pp. 135-140.

20. E. Jungwirth, "Scientists as People," *Journal of College Science Teaching*, vol. 2, February 1973, pp. 24-27.

21. Wayne W. Welch, 1969, *op. cit.*

22. Glen S. Aikenhead, 1975, *op. cit.*

23. Glen S. Aikenhead, "The Measurement of High School Students' Knowledge About Science and Scientists," *Science Education*, vol. 51, no. 4, 1973, pp. 539-549.

24. Glen S. Aikenhead, "'Science: A Way of Knowing': A Tenth Grade Course for Teaching the Nature and Social Aspects of Science," Paper presented to the 17th Annual Conference of the ATA Science Council, Banff, Alberta, 8 October 1977.

25. Michael Bassey, *Science and Society*, University of London Press, London, UK, 1968.

26. Charles R. Barman, John J. Rusch, and Timothy M. Cooney, *Science and Societal Issues: A Guide for Science Teachers*, Price Laboratory School, University of Northern Iowa, Cedar Falls, Iowa, 1979.

27. Cheryl Charles and Bob Samples, *Science and Society: Knowing, Teaching, Learning*, National Council for the Social Studies, Bulletin 57, Washington, DC, 1978.

28. John Lewis (Project Organizer), *Science in Society Project*, Heinemann Educational Books Ltd., Scarborough, Ontario, 1981.

29. David E. Newton, *Science and Society*, Holbrook Press, Boston, Mass., 1974.

30. Martin Goldstein and Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978.

31. Dietrich Schroeer, *Physics and Its Fifth Dimension: Society*, Addison-Wesley, Don Mills, Ontario, 1972.

32. David R. Biggins, "Biology and Ideology," *Science Education*, vol. 60, October-December 1976, pp. 567-578.

33. Rodger W. Bybee, "Science Education for an Ecological Society," *The American Biology Teacher*, vol. 41, March 1979, p. 156.

34. James E. Page, *A Canadian Context for Science Education*, Science Council of Canada, Ottawa, October 1979.

35. Graham W.F. Orpwood and Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s," *Orbit*, no. 51, February 1980, pp. 21-25.

36. Glen S. Aikenhead, 1978, *op. cit.*

37. P.L. Gardner, "Attitudes to Science: A Review," *Studies in Science Education*, vol. 2, 1975, pp. 1-41.

38. D.R. Krathwohl, B.S. Bloom, and B.S. Masia, *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook II: Affective Domain*, David McKay Co., New York, 1964.

39. Iain Cameron and David Edge, *Aspects of Scientism*, SISCON Project, University of Manchester, Manchester, UK, 1975.

40. George Eastman, "Scientism in Science Education," *The Science Teacher*, vol. 36, April 1969, pp. 19-22.

41. Warren Weaver, "Science and People," *Science*, vol. 122, 30 December 1955, pp. 1255-1259.

42. J.M. Ziman, *Some Manifestations of Scientism: Limitations of the Scientific Attitude*, "Science in Society Project," Heinemann Educational Books, Scarborough, Ontario, 1979.

43. Dietrich Schroeer, *op. cit.*, p. 11.

44. Marshall A. Nay and Robert K. Crocker, "Science Teaching and the Affective Attributes of Scientists," *Science Education*, vol. 54, January-March 1970, pp. 59-67.

45. M. James Kozlow and Marshall A. Nay, "An Approach to Measuring Scientific Attitudes," *Science Education*, vol. 60, April-June 1976, pp. 147-172.

46. Hugh Munby, "An Evaluation of Instruments which Measure Attitudes to Science," in *World Trends in Science Teaching*, ed. Charles McFadden, Atlantic Institute of Education, Halifax, NS, 1980.

47. Glen S. Aikenhead, 1973, *op. cit.*

48. R.E. Stake, J.A. Easley, *et. al.*, *Case Studies in Science Education*, Center for Instructional Research and Curriculum Evaluation, University of Illinois, Urbana, Ill., 1978.

49. Leonard H. Kochendorfer, "Classroom Practice of High School Biology Teachers Using Different Curriculum Materials," in *Research and Curriculum Development in Science Education*, ed. Lee E. Addision, University of Texas Publication 6720, Austin, Texas, 1967.

50. Glen S. Aikenhead, "Using Qualitative Data in Formative Evaluation," *Alberta Journal of Educational Research*, vol. 25, June 1979, pp. 117-129.

51. Michael F. Connelly, "Research at the Firing Line: Carping, Conceptualization, and an Action Proposal," Paper presented to the Learned Societies, CSSE-CACS, Montréal, Qué., June 1980.

52. Douglas Roberts and Graham W.F. Orpwood, "Curricula Intentions and Classroom Strategies: A Case Study in Science Education," Paper presented to the Learned Societies, CSSE-CACS, Montréal, Qué., June 1980.

53. Wayne W. Welch, 1980, *op. cit.*

54. Douglas Roberts and Graham W.F. Orpwood, 1980, *op. cit.*

55. Denise Eby and Roger Tatum, *Consumer Chemistry Learning Activity Packages*, Unigraph, Seattle, Washington, 1978;

Marjorie Gardner (Project Director), *Interdisciplinary Approaches to Chemistry*, Harper and Row, New York, 1973;

Technology and Society Report Series, State University of New York at Stony Brook, 1978;

Lee R. Summerlin, *Chemistry of Common Substances*, Silver Burdett Co., Glenview, Ill., 1979;

Frank Jenkins, *ALCHEM*, J.M. LeBel Enterprises, Edmonton, Alberta, 1979;

Lucy T. Pryde, *Environmental Chemistry*, Cummings Publishing, Menlo Park, Calif., 1973;

Douglas A. Roberts and Graham W.F. Orpwood, *Properties of Matter: A Teacher's Guide to Alternative Versions*, OISE, Toronto, Ont., 1979.

56. J.A. Gibbons, "Curriculum Integration," *Curriculum Inquiry*, vol. 9, Winter 1979, pp. 321-332.

57. Harry S. Broudy, "Science and Human Values," *The Science Teacher*, vol. 36, March 1969, pp. 23-28.

58. Everett Mendelsohn, "Values and Science: A Critical Reassessment," *The Science Teacher*, vol. 43, January 1976, pp. 21-23.

59. David T. Suzuki, "Science should start with an R," *Macleans*, 21 January 1980, p. 4.

60. Warren Weaver, *op. cit.*

61. Harry S. Broudy, *op. cit.*

62. Neil Postman and Charles Weingartner, *Teaching as a Subversive Activity*, Delacorte Press, New York, 1969.

63. Michael Polanyi, *Personal Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1958.

64. Glen S. Aikenhead, 1975, *op. cit.*

65. Glen S. Aikenhead, 1973 and 1978, *op. cit.*

66. D. Kurfman, *Developing Decision-Making Skills*, National Committee for the Social Studies, Yearbook, 1977.

67. Edward De Bono, *CoRT Thinking Lessons*, Direct Education Services Ltd., Blandford, Dorset, UK, 1974.

68. College Entrance Examination Board, *Deciding*, CEEB, New York, 1972.

69. John Lewis, *op. cit.*

70. J.A. Gibbons, *op. cit.*

71. Dietrich Schroeer, *op. cit.*

72. Glen S. Aikenhead and Reg W. Fleming, *op. cit.*

73. Neil Postman and Charles Weingartner, *op. cit.*

74. Reg. W. Fleming, "Recombinant DNA: A Science-Society Case Study," Mt. Royal Collegiate, Saskatoon, Sask., mimeo, 1980.

75. "Canada Feared Losing Scientists", *Star-Phoenix*, Saskatoon, Sask., 29 November 1979, p. B-1.

76. Glen S. Aikenhead and Reg W. Fleming, *op. cit.*

77. Everett Mendelsohn, *op. cit.*

78. David E. Newton, *op. cit.*

79. Samuel S. Epstein, *The Politics of Cancer*, Doubleday, Garden City, NY, 1979.

III. Characteristics and Limitations of Science

1. Glen S. Aikenhead and Reg W. Fleming, *Science: A Way of Knowing*, Department of Curriculum Studies, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 1975.

2. Glen S. Aikenhead, "'Science: A Way of Knowing': A Tenth Grade Course for Teaching the Nature and Social Aspects of Science," Paper presented to the 17th Annual Conference of the ATA Science Council, Banff, Alberta, 8 October 1977;

   Glen S. Aikenhead, "Using Qualitative Data in Formative Evaluation," *Alberta Journal of Educational Research*, vol. 25, June 1979, pp. 117-129;

   Glen S. Aikenhead, "Science: A Way of Knowing," *The Science Teacher*, vol. 46, September 1979, pp. 23-25.

3. Michael Bassey, *Science and Society*, University of London Press, London, UK, 1968.

4. Martin Goldstein and Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978.

5. Garvin McCain and Erwin M. Segal, *The Game of Science*, 3rd ed, Brooks/Cole Publishing, Monterey, Calif., 1977.

6. David E. Newton, *Science and Society*, Holbrook Press, Boston, Mass., 1974.

7. Dietrich Schroeer, *Physics and Its Fifth Dimension: Society*, Addison-Wesley, Don Mills, Ontario, 1972.

8. Joseph J. Schwab, "The Teaching of Science and Enquiry," in *The Teaching of Science*, eds. J. Schwab and P. Brandwein, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

9. Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1970.

10. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching," *The Science Teacher*, vol. 42, February 1975, p. 28.

11. Willard W. Korth, "The Use of the History of Science to Promote Student Understanding of the Social Aspects of Science," Unpublished Doctoral Thesis, Stanford University, Stanford, Calif., 1968.

12. Paul Hurd, *op. cit.*, p. 28.

13. Graham W.F. Orpwood and Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s," *Orbit*, no. 51, February 1980, pp. 21-25.

14. John Lewis (Project Organizer), *Science in Society Project*, Heinemann Educational Books Ltd., Scarborough, Ontario, 1979.

15. Martin Goldstein and Inge Goldstein, *op. cit.*

16. *Ibid.*, p. 18.

17. *Ibid.*, p. 21.

18. S. Toulmin, *Philosophy of Science*, Hutchinson University Library, London, UK, 1953.

19. Everett, Mendelsohn, "Values and Science: A Critical Reassessment," *The Science Teacher*, vol. 43, January 1976, pp. 21-23.

20. Dietrich Schroeer, *op. cit.*, p. 11.

21. Brent Kilbourn, "World Views and Science Teaching," In *Seeing Curriculum in a New Light: Essays from Science Education*, ed. Hugh Munby, Graham Orpwood, and Thomas Russell, OISE Press, Toronto, 1980.

22. Max Marwick, "Is Science a Form of Witchcraft?," *New Scientist*, 5 September 1974, pp. 578-581.

23. Merritt E. Kimball, "Opinions of Scientists and Science Teachers About Science," unpublished doctoral thesis, Stanford University, Stanford, Calif., 1965.

24. Merritt E. Kimball, *ibid.*

25. Wayne W. Welch, "The Development of an Instrument for Inventorying Knowledge of the Processes of Science," unpublished doctoral thesis, University of Wisconsin, Madison, Wis.

26. Merritt E. Kimball, *op. cit.*

27. Merritt E. Kimball, *ibid.*

28. Charles R. Barman, John J. Rusch, and Timothy M. Cooney, *Science and Societal Issues: A Guide for Science Teachers*, Price Laboratory School, University of Northern Iowa, Cedar Falls, Iowa, 1979.

29. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer, and James T. Robinson, *Inquiry Group Report. Phase I. Desired States*, Unpublished report prepared for Project Synthesis, School of Education, University of Colorado, Boulder, Colo., 1978.

30. Brent Kilbourn, *op. cit.*

31. Leo E. Klopfer, "A Structure for the Affective Domain in Relation to Science Education," *Science Education*, vol. 60, July-September 1976, pp. 299-312.

32. Charles R. Barman *et al*, *op. cit.*

33. Fred W. Fox, "After Concept and Process," *The Science Teacher*, vol. 40, April 1974, pp. 19-20.

34. Paul Hurd, *op. cit.*

35. Paul Hurd, *ibid.*, p. 28.

36. Everett Mendelsohn, *op. cit.*

IV. Conclusion

1. Cheryl Charles and Bob Samples, *Science and Society: Knowing, Teaching, Learning*, National Council for the Social Studies, Bulletin 57, Washington, DC, 1978.

2. Martin Goldstein and Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978, p. 260.

3. Fletcher G. Watson, "Science Education for Survival," in *World Trends in Science Teaching*, ed.Charles McFadden, Atlantic Institute of Education, Halifax, NS, 1980, p. 6 .

4. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching," *The Science Teacher*, vol. 42, February 1975, p. 29.

L'Enseignement des sciences

dans une perspective sociale

Exposé à débattre
par Glen S. Aikenhead

Conseil des sciences du Canada

Exposé à débattre D80/2

37

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES
dans une perspective sociale

Exposé à débattre
par Glen S. Aikenhead
Février 1981

Les exposés à débattre sont des documents de travail que le Conseil des sciences du Canada met à la disposition des personnes ou groupes intéressés, en quantité limitée, pour connaître leurs réactions.

Les vues exprimées dans le présent Exposé sont celles de l'auteur; elles ne reflètent pas nécessairement l'opinion du Conseil des sciences du Canada

Vous pouvez vous procurer gratuitement des exemplaires de:

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES
dans une perspective sociale

auprès du:

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe,
Ottawa, Ont. K1P 5M1

Copies of *Science in Social Issues - Implications for Teaching* are also available free of charge.

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1981
N° de catalogue SS21-4/3-1981F
ISBN 0-662-11183-4.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos 5

Prologue 7

I. NÉCESSITÉ DE RECONSIDÉRER LES OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 11

II. LE BÉNÉFICIAIRE DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 16
Introduction 16
Les divers types de connaissances acquises lors des cours de sciences 17
Résumé 26
Les divers rôles des Canadiens au sein de la société 27
Scientifiques et technologues 29
Décideurs des secteurs judiciaire, commercial, industriel et public 29
Les simples citoyens 33
Récapitulation 37
Les divers modes d'utilisation du savoir 37
La prise de décisions concernant les questions sociales à caractère scientifique 42
Récapitulation 52

III. CARACTÉRISTIQUES ET LIMITATIONS DES SCIENCES 54
Introduction 54
La nature des sciences 55
L'objet premier de l'activité scientifique 56
Sciences et technologie 56
La fiction de la méthode scientifique 58
L'observation scientifique des phénomènes 58
Le raisonnement scientifique 60
Le rôle de l'imagination dans les sciences 62
La science, phénomène culturel 64
Le processus décisionnel en matière scientifique 65
Caractère évolutif de la connaissance scientifique 66
Le rôle des hypothèses en matière scientifique 67
Les valeurs scientifiques 68

IV. CONCLUSION 73

Annexe 75

Bibliographie 77

AVANT-PROPOS

Le présent Exposé a été rédigé pour les besoins de l'étude sur l'enseignement des sciences au Canada réalisée par le Conseil des sciences du Canada, sous la supervision du Comité de l'enseignement des sciences. Entreprise au printemps de 1980, cette étude vise trois grands objectifs:

- établir une base de données concernant les objectifs actuels et les caractéristiques générales de l'enseignement des sciences dans les établissements canadiens;
- faire une analyse historique de l'enseignement des sciences au pays;
- encourager le débat concernant l'orientation à donner à cet enseignement.

Comme l'indique ce troisième objectif, le Conseil des sciences ne s'est pas encore formé une opinion au sujet de cette réorientation, mais il cherche à le faire en demandant l'opinion des divers responsables. Il espère que ces vues, présentées dans des exposés à débattre et diffusées le plus largement possible, inciteront les enseignants des sciences et autres responsables à reconsidérer leurs objectifs et leurs méthodes. En participant à cet effort de réflexion et en analysant systématiquement les lignes de conduite et les façons de procéder suivies actuellement et par le passé, le Conseil des sciences souhaite arriver à une juste appréhension de la situation et des besoins de l'enseignement des sciences au Canada, et être ainsi en mesure de formuler des recommandations utiles.

Le premier Exposé à débattre de la série, *Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences*, a été publié en 1979. Son auteur, M. James E. Page, a souligné l'importance d'une sensibilisation plus large du public aux progrès des sciences et de la technologie au Canada et à leurs incidences sur la vie des citoyens.

Le présent Exposé va plus loin en soulevant des questions importantes au sujet du type d'enseignement des sciences qu'il importe de mettre sur pied d'ici la fin du siècle. Son auteur, M. Glen S. Aikenhead, qui possède de l'expérience dans l'enseignement des sciences et l'élaboration des programmes d'études pertinents, décrit le rôle complexe des sciences dans le processus décisionnel en matières sociale et politique. Il cerne ensuite une série d'objectifs que doivent viser les spécialistes de la pédagogie des sciences pour permettre aux Canadiens de mieux comprendre la société technocentrique dans laquelle ils vivent, et pour orienter son évolution. Le reste du document porte sur les divers moyens de réaliser ces objectifs grâce à l'emploi de méthodes pédagogiques appropriées.

Il convient de souligner que les vues exprimées dans le présent Exposé sont celles de l'auteur, et qu'elles ne correspondent pas forcément à celles du Conseil des sciences ou du Comité de l'enseignement des sciences. Le Conseil estime toutefois que l'auteur a présenté une thèse bien étayée, et que sa diffusion contribuera aux progrès de l'étude en cours et de l'enseignement des sciences au Canada.

James M. Gilmour,
Directeur de la recherche,
Conseil des sciences du Canada

PROLOGUE

L'article 236 du Code pénal du Canada fixe à 0,8 g/litre le taux maximal d'alcoolémie pour les conducteurs automobiles. Les dispositions réglementaires stipulent que l'état alcoolique doit être décelé au moyen d'un alcotest; celui-ci est généralement effectué à l'aide de l'éthylomètre de Borkenstein.

Ce dispositif technique fait appel à une gamme de connaissances et de méthodes scientifiques éprouvées: lois des états gazeux, phénomènes d'oxydoréduction, théorie de l'équilibre chimique, lecture précise des instruments, prélèvements d'échantillons témoins et évaluation des erreurs de mesure. Comme pour la plupart des innovations techniques, l'emploi de l'éthylomètre de Borkenstein a des incidences sociales: il permet aux services de police de dépister les cas de conduite dangereuse en état d'ébriété et décourage l'utilisation de la voiture particulière par quelques conducteurs émêchés risquant l'accident.

Par contre, il pose des problèmes juridiques imprévus, les tribunaux canadiens étant amenés à utiliser les résultats de l'alcotest comme preuve. Pour déclarer une personne coupable de conduite en état d'ébriété, le tribunal doit disposer d'une preuve quasi-certaine. Or, dans le cas de l'éthylomètre de Borkenstein, cette preuve est fournie par la lecture d'un instrument technico-scientifique. Pour établir la preuve de l'infraction hors de tout doute raisonnable, les tribunaux peuvent employer le mode judiciaire ou le mode technico-

scientifique (qui ne se correspondent pas forcément, comme on le verra ci-après). Les tribunaux devraient-ils procéder par la voie technico-scientifique lorsqu'ils se servent des résultats de l'alcotest comme moyen de preuve? Les juges canadiens sont divisés sur ce sujet.

Le bien-fondé de l'utilisation des méthodes scientifiques dans les tribunaux canadiens a été récemment mis en question lors de deux affaires: la *Couronne* et *Moreau*, et la *Couronne* et *Maclellan*.

La police de la route ayant décelé chez Moreau un taux d'alcoolémie de 0,9 g/l, celui-ci fut accusé de conduite en état d'ivresse. Il soutint devant les tribunaux du Québec que les mesures effectuées à l'aide de l'éthylomètre de Borkenstein comportaient, comme pour tous les instruments scientifiques, une marge d'erreur intrinsèque, et fut acquitté. Au dire des experts, cette marge était de $\pm$0,1 g/l. Les tribunaux québécois ont donc estimé que le taux maximum légal d'alcoolémie étant de 0,8$\pm$0,1 g/l, l'accusé ne l'avait pas dépassé. Cependant, en 1978, la Cour suprême du Canada cassa ce jugement et, par 5 voix contre 4, reconnut Moreau coupable de conduite en état d'ébriété. Les magistrats de la Cour suprême affirmèrent que le relevé d'une mesure effectuée à l'aide d'un instrument approuvé par le Solliciteur général ne pouvait comporter de marge d'erreur. Un an plus tard, le cabinet du Solliciteur général adressa une note de service à tous les policiers utilisant l'éthylomètre de Borkenstein, leur demandant de ne pas porter d'accusation contre les prévenus pour un taux d'alcoolémie inférieur à 0,9 g/l.

Dans l'affaire Maclellan, un tribunal de la Colombie-Britannique innocenta l'accusé parce que l'éthylométriste avait failli à ses obligations de trois façons: 1) il n'avait pas tenu compte de la température ambiante qui influe sur l'équilibre de la solution type de bichromate de potassium utilisée à cette fin, le guide de l'utilisateur précisant que l'écart entre la température du laboratoire et celle de la solution ne doit pas dépasser 1°C; 2) il avait employé des techniques d'échantillonnage invalides pour s'assurer de la qualité des

solutions de bichromate de potassium; enfin 3), il n'avait pas gardé d'échantillon témoin pour chaque analyse. Dans son jugement écrit, le juge Washington déclara:

> "...Par conséquent, pour déclarer quelqu'un coupable sur la foi de mesures effectuées à l'aide d'un appareil, il faut établir clairement et hors de tout doute raisonnable que celles-ci sont parfaitement exactes et ont été pratiquées par le technicien en stricte conformité avec la marche à suivre indiquée dans le guide de l'utilisateur.
>
> Il n'y est dit nulle part que l'éthylomètre de Borkenstein modèle 900A est un appareil indéréglable ou infaillible. *Soutenir cette thèse serait*, à mon avis, *prétendre à des connaissances scientifiques et techniques plus poussées que celles des experts qui ont rédigé le guide.*
>
> Un appareil peut mal fonctionner ou, comme c'est le cas ici, fournir des mesures inexactes s'il est mal utilisé. C'est pourquoi on ne peut omettre ni modifier de quelque façon aucune des indications du guide. Ce n'est qu'à cette condition que le tribunal peut admettre les lectures finales en preuve"*. (C'est nous qui soulignons).

Ce jugement fut *cassé* par la Cour suprême du Canada, qui déclara Maclellan coupable de conduite en état d'ébriété.

Les magistrats canadiens ne s'entendent pas sur le bien-fondé de la preuve scientifique. Pour parvenir à un consensus en cette matière, il faudrait qu'ils possèdent des connaissances scientifiques de base et soient en mesure d'évaluer l'opportunité de recourir au mode scientifique de la preuve.

Mais comment pourraient-ils le faire si on ne leur explique pas, dès l'école secondaire, les rapports qui existent entre les sciences et la société? Le présent exposé a pour objet de décrire les objectifs éventuels de ces cours, l'importance qu'ils revêtent pour la société canadienne, et les caractéristiques des sciences à prendre en compte dans l'élaboration des programmes scolaires portant sur leurs incidences sociales.

---

*Greffe de Penticton, doc. n^{o} 129/78, décembre 1978, pp. 19 et 20.

NÉCESSITÉ DE RECONSIDÉRER LES OBJECTIFS DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

En février 1975, un ministre fédéral déclara, au cours d'un débat sur l'avortement, qu'il attendrait que la science ait déterminé à quel moment l'embryon devient un être humain avant de se prononcer sur le sujet de l'avortement. Considérant celui-ci comme un domaine relevant particulièrement des sciences, il estimait que les scientifiques étaient en mesure de trancher cette question. Après tout, n'est-ce pas le rôle essentiel de la science que d'établir des définitions claires et nettes?

A l'heure actuelle, les grandes décisions prises au Canada concernant les questions relevant des sciences ne sont pas fondées sur une juste appréhension de leur rôle. On observe cette lacune au sein des organismes de l'État et des conseils d'administration, chez les chefs d'industrie et lors des consultations populaires. Ces décisions portent notamment sur les filières énergétiques de demain (p. ex. choix entre les sources énergétiques habituelles et l'électronucléaire), sur la production vivrière (p. ex. choix entre les produits naturels et les produits de biotechnologie agricole) et sur la pollution (pluies acides, contamination par les produits phytosanitaires, etc.). Si de telles décisions sont prises par des gens aussi peu éclairés en matière scientifique que le ministre fédéral mentionné ci-dessus, les Canadiens en subiront les graves conséquences. James

Page est arrivé à la même conclusion fondamentale dans son exposé: *Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences*:

> "... notre société ne pourra s'épanouir que dans la mesure où les citoyens qui la constituent seront capables d'appréhender les questions scientifiques. Ce ne sera possible que si les scientifiques actuels et ceux de l'avenir prennent conscience des répercussions éventuelles de leurs recherches et de leur enseignement sur la société canadienne, et *si la population en général saisit les liens unissant les sciences et la société*"[1]. (C'est nous qui soulignons).

Les rapports entre les sciences et la société canadienne sont complexes et multiples. L'activité scientifique a de nombreuses répercussions sur la vie canadienne, et inversement: il y a donc des interactions. Plus le grand public et les scientifiques comprendront ces interactions, plus on sera en mesure de trouver des solutions valables aux problèmes intéressant les sciences.

Pour bien des gens, même ceux qui poursuivront leur formation, la principale et peut-être l'unique occasion de saisir cette relation sera fournie par les cours de sciences dispensés dans le cadre des études générales. Ces cours doivent donc être conçus de façon à inculquer ces notions fondamentales aux élèves. Or, jusqu'ici, les manuels de sciences ont négligé cet aspect. Le moment est venu de redéfinir les objectifs et méthodes traditionnels de cet enseignement, dans le but précis d'accorder une place importante à l'interdépendance des sciences et de la société. Il ne s'agit pas d'une idée nouvelle: on l'a déjà fait valoir aux États-Unis[2,3,4,5], en Grande-Bretagne[6], et même chez nous, au Canada[7,8]. Selon les termes de Paul Hurd, il faut "adapter l'enseignement des sciences aux réalités sociales"[9].

La présente étude n'a pas pour objet de définir précisément un ensemble complet d'objectifs pour l'enseignement des sciences, mais de

cerner ceux qui comportent une orientation sociale, afin d'en déterminer la nature exacte*.

Revenons un instant au cas du ministre qui croyait que les sciences pouvaient préciser le moment où l'embryon devient un être humain. Une telle action déborde nettement le cadre de l'activité scientifique *comme telle*. Toutefois, les responsables qui ont à prendre des décisions d'ordre politique, moral ou juridique peuvent recourir à cette fin aux connaissances scientifiques (embryologie ou biochimie). Bien qu'il n'appartienne pas aux hommes de science de préciser le moment du passage à l'état humain, les connaissances scientifiques peuvent y contribuer d'une certaine façon. Le débat sur l'avortement nous a donc donné une importante leçon: l'étude rationnelle d'une question ayant des fondements scientifiques présuppose la connaissance des *possibilités* et des *limitations* des méthodes et des connaissances scientifiques. Pour prendre des décisions valables sur les questions intéressant les sciences, les Canadiens doivent d'abord déterminer:

1° le rôle véritable des sciences et le champ qu'elles couvrent;

2° leurs limitations, tant sur le plan des principes que sur celui de l'expérimentation;

3° la façon dont les sciences peuvent, malgré leurs limitations, aider les Canadiens à résoudre les problèmes collectifs courants, à s'adapter à une société technico-scientifique complexe et même à orienter son évolution.

Les professeurs de sciences du Canada pourraient certes aider les élèves à prendre conscience de ces questions en mettant en évidence:

---

*Pour avoir un autre aperçu de cette question, voir le document rédigé par G.W.F. Orpwood et D.A. Roberts[10]. On trouvera, dans l'étude de G.S. Aikenhead, W.W. Welch et coll.[12], un exposé plus détaillé de l'enseignement des sciences en fonction de la démarche scientifique, de la nature et de l'aspect social des sciences.

1° *les caractéristiques des sciences*: leurs objectifs, leurs valeurs, leur caractère humain, et les modalités de prise des décisions et d'expansion des connaissances;

2° *les limitations* des connaissances, valeurs, méthodes et techniques scientifiques, notamment en rappelant à leurs élèves que les sciences ne constituent qu'un mode de connaissance parmi bien d'autres, et en délimitant les frontières entre sciences et politique, sciences et économie, sciences et religion, sciences et technologie, et sciences et morale;

3° *la place des sciences dans la vie canadienne*: études de cas canadiennes sur certains problèmes d'ordre scientifique, et interprétation personnelle des décisions de la collectivité en matière de consommation, d'affaires publiques et d'orientation professionnelle.

Tout programme d'enseignement axé sur les incidences sociales des sciences devrait faire une place de choix à ces considérations.

Comment peut-on en arriver à croire, comme le faisait le ministre fédéral mentionné plus haut, que la science peut, à elle seule, résoudre des problèmes complexes comportant des jugements de valeur? Qu'est-ce qui peut permettre d'éviter de telles erreurs? Chose sûre, la seule possession de notions scientifiques, par exemple concernant les mécanismes de la méiose et de la mitose, l'embryologie ou le rôle de l'ARN dans la différenciation cellulaire, ne garantit pas leur utilisation correcte. On a beau avoir mémorisé les principaux phylums, appris à équilibrer les réactions d'oxydoréduction, excellé en physique ou obtenu la meilleure note en sciences à l'école secondaire, on peut se trouver incapable de prendre une décision capitale dans une situation concrète. Et pourquoi? En général, parce qu'on ne connaît pas les caractéristiques et les limitations des sciences.

Les deux chapitres qui suivent préciseront les objectifs décrits ici. Comme nous l'avons dit plus haut, nous préconisons une refonte du programme d'enseignement des sciences, actuellement conçu en fonction des différentes disciplines, pour en faire un programme axé sur les interactions des sciences avec la société, et fondé sur l'environnement social de l'étudiant et sur le rôle qu'y jouent les sciences. Pour

évaluer l'incidence d'un tel programme, il faut d'abord se rendre compte que les élèves sont les *bénéficiaires* de l'enseignement des sciences: c'est l'objet du deuxième chapitre. Corollairement, nous examinerons au troisième chapitre certaines caractéristiques et limitations importantes des sciences, à l'aide d'un programme pédagogique appelé *Les sciences, un mode de connaissance*[13], élaboré et éprouvé par les responsables saskatchewanais de l'enseignement des sciences au 1er cycle du secondaire.

II LE BÉNÉFICIAIRE DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

Introduction

Le type de connaissances acquises dans la plupart des cours de sciences ne convient pas aux besoins futurs de l'étudiant. Jusqu'ici, l'étude des sciences n'a pas porté de fruits sur les plans social et culturel, et elle n'a guère préparé l'étudiant à faire face à ses obligations sociales futures. Si elle avait été axée davantage sur les relations entre les sciences et la société canadienne, les adultes d'aujourd'hui seraient mieux armés pour débattre de questions morales et sociales, tel l'avortement.

L'introduction, dans les établissements d'enseignement canadiens, d'un programme axé sur les incidences sociales de la science entraînerait de nombreuses conséquences. En les analysant, il faut toujours songer aux intérêts des élèves. Lors des cours, ceux-ci acquièrent toute une gamme de connaissances scientifiques qu'ils apprécient en fonction de leurs besoins, de leurs intérêts ou de leurs responsabilités sociales futures. Par ailleurs, des obligations sociales différentes conduisent à des utilisations diverses de ces connaissances. D'où la nécessité de prendre en compte les quatre grands facteurs suivants, qui devraient constituer les éléments cruciaux du programme d'enseignement des sciences:

A. les divers types de connaissances acquises lors des cours de sciences;

B. les divers rôles que les diplômés des écoles secondaires du Canada sont appelés à jouer dans la société;

C. les diverses façons dont ces diplômés utiliseront les connaissances acquises durant les cours de sciences; et

D. les processus décisionnels employés pour la résolution des problèmes collectifs intéressant les sciences.

L'étude de ces quatre éléments aidera à cerner le point de vue du bénéficiaire de l'enseignement des sciences. En entreprenant une étude sur celui-ci au Canada, le Conseil des sciences a montré qu'il tenait à collaborer avec les responsables provinciaux en cette matière, dans le cadre du débat sur l'avenir de l'enseignement des sciences au pays. Dans ce contexte, la perception et la compréhension des besoins de l'utilisateur revêtent une importance particulière. C'est pourquoi nous allons maintenant approfondir les quatre points mentionnés ci-dessus.

A. Les divers types de connaissances acquises lors des cours de sciences

Une large part de l'effort de recherche et d'analyse en matière d'enseignement des sciences repose sur le principe d'une formation scientifique des jeunes, laquelle serait à finalités multiples. Un modèle de classement apparu dans les années soixante distinguait les objectifs de l'enseignement scientifique en termes de "produit" et de "processus". Un autre issu de la psychopédagogie a délimité trois domaines: le "cognitif", l'"affectif" et le "psychomoteur". L.E. Klopfer a appliqué ces principes psychologiques à l'enseignement des sciences[1,2]. Sa méthode de classement est utilisée couramment, de nos jours, dans la littérature de l'enseignement des sciences. Elle est assez complexe, mais on peut en dégager cinq types distincts de connaissances que les élèves peuvent acquérir grâce aux cours de sciences*:

*Cette division en cinq catégories est purement heuristique; en permettant une organisation rationnelle de la présente étude, elle guidera le lecteur à travers un décale d'informations.

1° les phénomènes, notions, principes et capacités (intellectuelles et manuelles) propres à telle ou telle discipline, et leur application à des cas scientifiques ou techniques nouveaux;

2° l'aptitude à l'investigation scientifique;

3° la connaissance générale des caractéristiques et des limitations de l'activité scientifique;

4° les liens importants unissant les sciences et la société;

5° les attitudes et les intérêts en matière scientifique.

La présente étude visant à l'analyse des conséquences de l'adoption d'un programme d'enseignement des sciences dans une perspective sociale, nous n'étudierons pas en détail chacun de ces types de connaissances*, et nous nous limiterons au rapport entre celles-ci et l'appréhension des interactions entre science et société canadienne.

1. Le premier type de connaissances est constitué par les phénomènes, mécanismes et aptitudes propres à la discipline étudiée. Par exemple, les élèves peuvent apprendre à définir "masse" et "atome", à décrire la structure de celui-ci, à distinguer fusion et fission, à comparer les phénomènes de méiose et ceux de mitose, à calculer le poids spécifique d'un corps, à analyser un processus sur le plan de l'économie d'énergie, ou à utiliser une configuration atomique de la molécule pour expliquer des phénomènes physiques courants. Dans ce cas, l'élève utilise un cadre de référence ou une perspective propre à la discipline en question. En un sens, on peut dire qu'il aborde alors les sciences à la manière d'un praticien. Cet aspect de l'enseignement des sciences est depuis longtemps considéré comme relevant de la formation préliminaire du spécialiste[4,5,6,7], et les enseignants

*Pour une analyse complète basée sur l'articulation de l'empirisme psychologique, de l'enseignement, de la philosophie des sciences et de l'épistémologie, nous renvoyons le lecteur à l'étude publiée par G.S. Aikenhead en 1978[3].

et élèves des écoles secondaires estiment qu'il constitue la matière des examens d'entrée à l'université ou d'orientation des études.

Un cursus spécialisé ne permet pas l'étude des relations entre les sciences et la société canadienne, laquelle suppose l'articulation des connaissances appartenant à diverses disciplines. Or les cours spécialisés sont habituellement de nature toute théorique, sans rapport direct avec la vie de tous les jours, sinon pour les nombreux élèves qui ont besoin d'une formation propédeutique pour entrer à l'université. Dans son ouvrage intitulé *The Process of Education*[8] (La démarche pédagogique), Jerome Bruner accordait un soutien enthousiaste aux programmes d'études spécialisés en vogue au cours des années soixante; mais, dix ans après, il soulignait, dans "The Process of Education Reconsidered"[9] (Revoir la démarche pédagogique) la nécessité d'élargir sa perspective de façon à englober d'autres éléments vitaux, tels les rapports entre sciences et société.

Des recherches récentes ont montré que bien des élèves excellent dans l'imitation du langage et des techniques de résolution des problèmes employés par le scientifique, sans pour autant emprunter son cadre de pensée[10]. L'élève peut sembler assimiler la matière d'un cours de science, mais sans partager la perception qu'en a le scientifique. En effet, bien des étudiants ne saisissent pas le mode d'organisation des différentes disciplines scientifiques.

2. La pratique de l'investigation scientifique est un objectif important de la formation scientifique. Cette activité amène l'élève à participer à l'effort de résolution des problèmes, de prise des décisions, de réflexion critique et d'élaboration du savoir. Les ouvrages publiés par les enseignants des sciences à l'époque de la conquête de l'espace ont redonné vie à l'idée d'apprendre à scruter les phénomènes naturels, proposée d'abord par John Dewey[11]. D'une part, l'élève pourrait acquérir ce type de connaissances par une formation propédeutique, c'est-à-dire apprendre à appliquer les méthodes scientifiques dans le cadre de pensée de l'homme de science. Par

ailleurs, sur un plan plus général, l'investigation scientifique pourrait être envisagée comme une expérience personnelle conduisant les jeunes à s'interroger sur *la nature même* de cette activité: buts, fondements, caractéristiques et limitations.

Cependant, il est peu probable que cette double approche investigatrice soit adoptée d'ici peu par les autorités pédagogiques étatsuniennes[12]. Les Canadiens peuvent tirer une leçon de l'expérience des Américains en cette matière. A l'époque de la conquête de l'espace, la *National Science Foundation* et les associations d'enseignants des sciences des États-Unis ont encouragé les professeurs à remanier leurs programmes de sciences pour faire une place à l'investigation scientifique. Le groupe de recherche dirigé par W.W. Welch a expliqué ainsi l'insuccès des Américains: l'absence d'esprit investigateur dans les cours de sciences au niveau universitaire, le peu d'importance accordée à l'effort d'investigation par les enseignants des sciences des autres établissements, les difficultés prévues sur le plan de la mise en oeuvre des nouveaux programmes (matériel, locaux et calendrier des activités), la pénurie de manuels proposant des activités de ce genre et, enfin, l'opposition voilée, mais réelle, de la collectivité à cet égard[13].

Les responsables canadiens de l'enseignement des sciences n'auront pas de mal à en tirer des conclusions. Pour modifier l'orientation traditionnelle de cet enseignement, ils devront concerter leurs actions sur plusieurs fronts et, afin de vaincre l'inertie du système, faire preuve de jugement en mettant à profit l'expérience de leurs collègues étatsuniens. En somme, le dossier de l'investigation scientifique mérite un examen attentif.

3. Le troisième type de connaissances qui pourraient être dispensées lors des cours de sciences est celui des notions générales sur les caractéristiques et les limites de l'activité scientifique. Par exemple, on pourrait enseigner à l'élève que les théories scientifiques comme celles de l'évolution des espèces animales et des inter-

actions intra-nucléaires ont pour but d'expliquer les phénomènes naturels et d'aider à la réalisation de nouvelles expériences, et non pas de trancher des questions d'ordre religieux ou politique, ou encore que, les connaissances scientifiques étant l'oeuvre de l'homme, elles portent la marque de l'imagination et de la logique humaines, et ne sont pas à l'abri des erreurs. Par ailleurs, il faudrait éviter de laisser croire à l'élève que les données scientifiques sont immuables et qu'elles conduisent à "un ensemble de conclusions irréfutables"[14].

Pour l'acquisition des connaissances, l'élève utilise un cadre de pensée débordant le champ des sciences. Il s'élève au-dessus de la discipline scientifique pour l'examiner, l'analyser et, de façon générale, réfléchir à son propos. Il se pose alors une série de questions telles les suivantes: quels sont les principaux objectifs des scientifiques, dans la poursuite de leurs recherches? Quelles démarches utilisent-ils dans leur effort de réflexion? Quelles sont les hypothèses fondamentales sur lesquelles ils s'appuient? Sur quoi étayent-ils leurs découvertes? Quelles caractéristiques humaines favorisent ou freinent les progrès des sciences? Comment les scientifiques adaptent-ils leurs idées ou théories aux progrès des connaissances scientifiques? Comment résolvent-ils les controverses? Quels sont les fondements de leurs théories? Quelles sont les limites intrinsèques de leur mode de pensée et de leur démarche intellectuelle?

Même si le professeur ne cherche pas consciemment à inculquer ce type de connaissances à l'élève, celui-ci se forme une idée, juste ou erronée, de la nature de l'activité scientifique[15]. Ainsi, au cours d'une leçon de physique sur l'équation F = ma (force = masse x accélération), le maître peut amener les élèves à comprendre cette relation à partir d'observations faites par eux-mêmes, ou bien montrer que cette équation est la représentation scientifique d'un phénomène naturel et l'illustrer par des exemples mathématiques. Dans un cas comme dans l'autre, les élèves en tireront sans doute des conclusions

plus générales. La première méthode pourrait les amener à croire que la physique n'est pas aussi précise que les mathématiques qu'elle utilise, et la seconde, que les sciences constituent un ensemble de données rigides et immuables.

Nous avons mentionné plus haut qu'une mauvaise conception ou une appréhension erronée des sciences prépare bien mal les individus à s'adapter à la société scientifique et technologique moderne. Les recherches menées au sujet de l'enseignement des sciences révèlent que bien des diplômés des écoles secondaires, tant aux États-Unis qu'au Canada, ont une connaissance insuffisante ou grossièrement erronée de l'activité scientifique[16,17,18,19]. De façon générale, les cours de sciences dispensés actuellement à ce niveau ne contribuent pas à corriger cette lacune[20,21]. Une analyse critique du programme de chimie en vigueur en Saskatchewan a montré que les fausses perceptions des sciences et des scientifiques étaient pratiquement aussi courantes que les notions justes en cette matière[22]. Par ailleurs, les recherches ont permis de constater que la mise en évidence, par les enseignants, des caractéristiques et des limitations des sciences incite les élèves à approfondir ces questions[23].

Dans l'effort de refonte de l'enseignement des sciences au Canada pour tenir compte de leurs interactions avec la société, il faudra se rappeler:

1) que les élèves qui se présentent aux cours entretiennent beaucoup d'idées fausses au sujet de l'activité scientifique;

2) que la description exacte de cette activité dans des termes simples, puis son développement, exigent un enseignement approprié et des critères spéciaux;

3) qu'il est malaisé de corriger les idées erronées des jeunes à l'endroit de la science et des scientifiques (sans doute parce qu'elles résultent d'impressions personnelles, et non pas de l'assimilation d'une doctrine bien établie);

4) enfin, que les préjugés sont longs à surmonter, et que cet effort réduit le temps consacré normalement à la formation propédeutique.

Le dernier chapitre de la présente étude décrit dans les grandes lignes les caractéristiques et les limitations des sciences. L'élève doit bien saisir la nature de l'activité scientifique pour comprendre les liens importants qui existent entre celle-ci et les autres activités de la société[24].

4. Les cours portant sur les caractéristiques et les limitations des sciences s'inscrivent tout naturellement dans le cadre de l'étude de leurs interactions avec la société canadienne, qui constituerait le quatrième volet de l'enseignement des sciences.

Il nécessiterait l'utilisation d'un cadre de pensée plus ample que pour la catégorie précédente. Les sciences seraient alors perçues comme une activité collective influant sur la conduite des affaires humaines. Pour les ministres, les membres des conseils d'administration, les électeurs et les adolescents avides de savoir, les sciences sont intimement liées au contexte social canadien. Elles ont des interactions avec la technologie, l'économie, la politique, la religion, etc. Ces secteurs d'activité subissent eux-mêmes l'impact de la science par le biais de la mise en oeuvre pratique des connaissances scientifiques ou, de manière plus indirecte, par celui des courants scientifiques[25-31]. Inversement, ces sphères d'activité exercent une action sur les sciences, soit directement par un soutien matériel ou moral, soit indirectement par le truchement des images et des problèmes collectifs[32]. Tout comme la personnalité de l'individu est façonnée par son cadre culturel (quoique en disent les sociobiologistes), l'activité scientifique est profondément marquée par le contexte social dans lequel elle s'insère. D'où la nécessité d'insister, dans les cours de sciences, sur les interactions entre celles-ci et la société.

D'ailleurs, c'est ainsi que les sciences apparaissent à la majorité des jeunes, dans la vie courante. Ceux-ci observent, de l'extérieur, une société qui a été en bonne part façonnée par les sciences et la technologie, lesquelles y jouent un rôle croissant. Ils cherchent des réponses aux questions suivantes: Quelles sont les relations entre les sciences et la technologie? Que vaut l'opinion d'un homme de science en matières sociales? Comment peut-on comparer des concepts religieux à des données scientifiques? Où les savants puisent-ils les images et les métaphores qu'ils emploient dans leur activité créatrice? Dans quelle mesure le financement de l'activité scientifique influe-t-il sur l'orientation de celle-ci? Comment les découvertes scientifiques et techniques peuvent-elles poser des problèmes d'ordre moral? Les organes de la société sont-ils en mesure d'encourager les travaux scientifiques comportant des dangers pour la collectivité, ou d'y mettre un terme? Comment le public peut-il infléchir la recherche effectuée dans le secteur privé? Qui arbitre les incompatibilités entre l'intérêt de la santé publique et celui des entreprises commerciales? Comment et dans quelle mesure les connaissances scientifiques peuvent-elles contribuer à la résolution des problèmes collectifs relevant des sciences? Les recherches effectuées à ce propos ont révélé l'existence d'un phénomène curieux chez nombre d'étudiants étatsuniens:

> "Nous sommes en présence d'un paradoxe. Les jeunes voient dans les sciences et la technologie une source de problèmes mais, en même temps, un remède à ceux-ci. Ils estiment que les sciences ont changé la vie en bien comme en mal, et leur caractère étonnant suscite la confiance en l'avenir ou laisse indifférent"[33].

L'analyse de la situation de l'enseignement des sciences au Canada effectuée par James Page portait en particulier sur la perception des rapports entre science et société[34]. C'est la méconnaissance apparente de ces rapports qui a incité le Conseil des sciences à entreprendre une étude sur l'enseignement des sciences au Canada[35]. Le quatrième type de notions à inculquer aux élèves du secondaire

constitue donc la substance de la nouvelle orientation envisagée pour cet enseignement.

Étroitement lié au troisième type de connaissances pertinentes, celui des caractéristiques et limitations des sciences, le quatrième se rattache aussi tout naturellement au suivant, celui des attitudes et des intérêts en matière scientifique.

5. Ces deux aspects à envisager dans l'enseignement des sciences forment une classe à part, car ils relèvent de la vie affective. Pourtant, dans l'esprit des élèves, celle-ci est indissociable de la connaissance[36]. C'est la raison d'être de cette cinquième catégorie. Les attitudes se développent dans le cadre familial, scolaire ou social. Elles peuvent être positives: acceptation, évaluation, curiosité intellectuelle, édification d'une hiérarchie des valeurs, ou négatives, et se traduire alors par une tendance au rejet systématique[37,38].

Il existe au Canada deux tendances radicalement opposées, qui sont tout aussi néfastes pour l'étude des interactions entre science et société. D'une part, il y a ceux qui rejettent en bloc les explications scientifiques et nient l'apport réel des sciences et de la technologie au développement de la société canadienne. A l'autre extrême se trouvent les tenants du scientisme, qui soutiennent que la science pourrait résoudre tous les problèmes sociaux si elle disposait de moyens suffisants[39,40,41,42]. D. Schroeer considère ces deux attitudes comme procédant d'une conception soit globaliste, soit mécaniste du monde[43]. Le globaliste convaincu différera sûrement d'avis avec un partisan farouche de la théorie mécaniste quand il faudra prendre une décision collective intéressant les sciences. L'orientation d'un individu, définie par l'ensemble de ses attitudes, se fonde sur une foule de valeurs et de principes qui constituent en quelque sorte son idéologie. Les personnes n'ayant pas la même idéologie *perçoivent* les problèmes différemment; elles concevront donc chacune à leur façon le rôle des sciences.

Les professeurs de sciences tiennent à connaître les attitudes de leurs élèves. Toutefois, il est difficile de s'entendre sur la notion d'attitude en raison de sa polyvalence[44,45]. Et il est encore plus difficile d'*évaluer* l'attitude d'un individu[46]. Cependant, cette question déborde le cadre de la présente étude; les lecteurs qui souhaitent en savoir plus long à ce sujet pourront consulter les études mentionnées.

Résumé

Les bénéficiaires de l'enseignement des sciences acquièrent différents types de connaissances durant les cours. Ils reçoivent une instruction, bonne ou mauvaise, sur les plans suivants:

1) les connaissances scientifiques;

2) la pratique de l'investigation scientifique;

3) les possibilités et les limites des sciences;

4) les interactions entre sciences et société; et

5) les sentiments et attitudes à l'égard des sciences.

La qualité de l'instruction reçue par les élèves du secondaire dépend en partie de celle des cours de sciences. La matière enseignée peut porter l'empreinte de la famille ou de la collectivité, mais le rôle du professeur est primordial[47,48]. Le matériel didactique ne sert qu'à guider le maître, qui est libre de choisir la matière à enseigner, ou de déterminer les conditions d'un bon enseignement des sciences[49]. Il serait simpliste de croire que l'analyse du programme d'études et du matériel didactique peut rendre compte du contenu effectif des cours.

Les chercheurs désireux d'évaluer l'incidence de l'enseignement des sciences sur les élèves devraient utiliser d'autres méthodes que celles consistant à mesurer leurs connaissances à l'aide d'instruments normalisés, à analyser le matériel didactique et à compiler des réponses à des questionnaires. Il existe d'autres modes d'investiga-

tion plus appropriés: recueil de données qualitatives, et analyse ethnographique et philosophique des méthodes pédagogiques[50,51,52].

Les éducateurs qui souhaitent imprimer une nouvelle orientation à l'enseignement des sciences, en mettant l'accent sur les relations entre celles-ci et la société, devront bien saisir l'interdépendance qui existe entre la collectivité, l'université, l'enseignant et les moyens didactiques. Cette activité de type homéostatique écarte toute possibilité d'actions restreintes. C'est toute l'infrastructure de l'enseignement qui doit être remaniée[53].

Les éducateurs doivent se rappeler que le taux d'assimilation des connaissances est faible pour ce qui est de la première catégorie, celle des matières enseignées traditionnellement, mais qu'il s'élève rapidement à mesure qu'on approche de la cinquième catégorie. En conséquence, un programme d'enseignement centré sur la quatrième catégorie, celle des relations entre la science et la société, suppose un certain apport des troisième et cinquième catégories. De même, la troisième catégorie est indissociable des deux premières.

Toutefois, le choix du type de connaissances à inculquer aux élèves sera fonction du mode d'application de ce savoir par les Canadiens, mode qui dépendra à son tour du rôle que ceux-ci joueront dans la société.

B. Les divers rôles des Canadiens au sein de la société

Non seulement les élèves acquièrent-ils, lors des cours de science, divers types de connaissances et d'idées fausses mais, une fois parvenus à l'âge adulte, ils les appliquent de différentes façons suivant leur situation sociale. Celle-ci est très diverse. Pour les besoins de la présente analyse, nous utiliserons la classification suivante:

1. *Les praticiens des sciences et des techniques*, qui se retrouvent surtout dans les facultés de génie, de médecine et

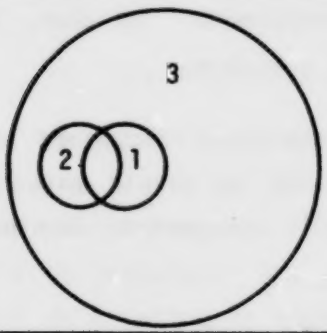
de sciences, et dans les laboratoires de R & D des secteurs public et privé.

2. *Les décideurs essentiels*, experts faisant partie d'un conseil d'administration de société, d'un organisme de l'État, d'une instance politique ou d'un jury, et appelés à prendre des décisions de façon parfois inattendue.

3. *Les simples citoyens*, qui interprètent à leur manière les messages publicitaires, qui s'efforcent de s'adapter aux progrès des sciences et de la technologie les cernant de toutes parts, que ce soit par le biais des supermarchés, du travail, des loisirs, des services sanitaires ou, de façon générale, de la qualité du cadre de vie, et qui sont appelés à se prononcer lors de consultations populaires ou d'enquêtes publiques.

La figure II.1 montre les rapports existant entre ces trois catégories distinguées arbitrairement.

Figure II.1 - Rôles sociaux



1. Praticiens des sciences et des techniques
2. Décideurs essentiels
3. Simples citoyens

Après étude approfondie des rôles que les diplômés des écoles secondaires assumeront vraisemblablement dans leur vie adulte, les enseignants des sciences adopteront une attitude plus réaliste à l'égard des programmes d'études pertinents. La valeur des connaissances scientifiques sur les plans individuel, social et national se mesure en fonction des différents rôles sociaux joués par les bénéficiaires de l'enseignement. Pour eux, la qualité de cet enseignement dépend de la façon dont il les prépare à s'acquitter de leurs responsa-

bilités futures, soit en qualité de scientifiques ou de technologues, soit comme décideurs aux niveaux judiciaire, commercial, industriel ou public, soit encore à titre de simples citoyens.

Scientifiques et technologues

Un pays industrialisé doit disposer d'une réserve adéquate de scientifiques et de technologues. Cependant, cette nécessité a peut-être contribué à la mauvaise orientation des programmes d'enseignement des sciences actuellement en vigueur au Canada. En effet, la presque totalité des élèves qui s'inscrivent à des cours de sciences reçoivent une formation propédeutique. Or cette filière n'est pas souhaitable dans 90 à 95 pour cent des cas, car seulement 5 à 10 pour cent des élèves du secondaire se destinent à une carrière dans un domaine scientifique ou technologique.

Néanmoins, c'est de ce dernier groupe que dépend la qualité des effectifs scientifiques et techniques du Canada, dans l'avenir. Il importe donc que les programmes de sciences des écoles canadiennes assurent une formation propédeutique.

Bien des écoles canadiennes dispensent une formation professionnelle dans un certain nombre de spécialités. Ainsi, l'élève peut-il acquérir une certaine compétence technique en mécanique automobile, ou s'initier au travail de secrétariat dans le cadre d'un cours commercial. Certains de ces programmes sont financés dans une large mesure par des organismes fédéraux. Un programme analogue de préparation à une carrière scientifique serait peut-être souhaitable. Il y a sûrement lieu de dispenser des cours de science spéciaux aux élèves qui comptent faire carrière dans le domaine scientifique ou technologique. Cette formation propédeutique en sciences pourrait être subventionnée par les organismes fédéraux ou provinciaux responsables.

Décideurs des secteurs judiciaire, commercial, industriel et public

En juin 1980, la Cour suprême des États-Unis a statué qu'on pouvait breveter de nouvelles formes vivantes issues des recombinaisons géné-

tiques. Par ailleurs, les juges canadiens ont à appliquer l'article 237 du Code pénal, relatif à l'alcotest. Dans maintes villes du Canada, les administrateurs municipaux imposent des normes de gestion des déchets radioactifs. Au sein des conseils d'administration de certaines sociétés, on discute de l'avenir de la filière énergétique de l'hydrogène. La recherche d'énergies nouvelles mobilise d'énormes investissements et bouleverse l'équilibre politique international. Et la Commission Bayda a formulé des recommandations générales concernant le développement du secteur de l'uranium en Saskatchewan.

Comme on le voit, chaque jour des décisions capitales sont prises par des responsables devant s'appuyer sur des données scientifiques et technologiques, et envisager la portée économique, politique et morale de leur prise de position. Les grands décideurs impriment leur marque dans toutes les sphères de la société canadienne, mais leur rôle est moins visible que celui des scientifiques: il est plus malaisé de reconnaître les grands décideurs de demain que les futurs scientifiques. Et pourtant, les premiers contribuent éminemment au développement qualitatif de la société canadienne.

Face aux problèmes sociaux ayant des ramifications scientifiques, les décideurs doivent avant tout se poser la question suivante:

> Comment ou dans quelle mesure peut-on alors recourir aux connaissances et aux méthodes scientifiques pour résoudre ces problèmes?

La réponse est complexe, car elle varie suivant ces derniers. Le cadre restreint de la présente étude ne permet pas une analyse détaillée de la question. Elle doit cependant figurer au premier rang des préoccupations des responsables de l'élaboration des programmes de sciences axés sur les interactions entre celles-ci et la société.

Ainsi, un tel programme pourrait prévoir l'étude des méthodes employées par les scientifiques pour en arriver à une décision sur tel ou tel sujet. Il peut s'agir par exemple de faire l'unanimité sur

l'observation d'un phénomène, ou d'établir une hypothèse valable. Toute prise de décision suppose du discernement, par exemple pour suspendre le jugement jusqu'à l'obtention d'une preuve suffisante, condition qui implique elle-même une décision subjective. Toutefois, dans la réalité concrète de la vie canadienne, le décideur doit se contenter de données beaucoup moins complètes que celles exigées par le scientifique pour étayer sa décision. Donnons-en deux exemples historiques. Pour mettre au point la machine à vapeur, on n'a pas attendu que les savants élaborent des formules pour décrire et expliquer les phénomènes de la thermodynamique. De même, l'utilisation pratique de l'électricité a précédé l'explication des phénomènes électriques par les hommes de science. Ces exemples montrent que la prise des décisions en matière sociale n'est pas forcément liée au processus scientifique et, par voie de conséquence, que la solution des questions sociales importantes ne réside pas uniquement dans le recours aux sciences. Ainsi, habituer les élèves du secondaire à employer le raisonnement scientifique ne les prépare pas nécessairement à prendre de bonnes décisions au sujet des questions sociales à caractère scientifique. G.W.F. Orpwood et D.A. Roberts font valoir ce point en mettant en relief la dimension philosophique à donner aux programmes d'enseignement des sciences axés sur les interactions entre celles-ci et la société[54].

La formation scientifique indispensable au décideur, que ce soit un juge, un chef d'industrie, un haut fonctionnaire ou un dirigeant politique, est l'aptitude à utiliser les connaissances scientifiques pour résoudre les problèmes sociaux relevant de la science. L'élève ne pourra s'initier au processus décisionnel et développer son esprit de discernement que s'il s'y exerce en classe et si les examens en tiennent compte. Or, ces activités ne sont pas prévues expressément dans les programmes d'enseignement des sciences actuellement en vigueur au Canada. C'est pourquoi les décideurs estiment souvent que leur formation scientifique ne les aide guère à s'acquitter de leurs importantes fonctions au sein de la société canadienne.

Voyons de façon plus précise quel rôle peut jouer la formation scientifique d'un décideur, en l'occurrence un magistrat, appelé à se prononcer sur l'applicabilité de la législation des brevets dans le cas des organismes vivants engendrés par fusion chromosomique. Quelles connaissances sur l'investigation biochimique et technique doit-il posséder pour pouvoir déterminer si les dispositions de la loi valent pour les organismes vivants résultant d'une intervention humaine? Dans quelle mesure doit-il connaître les caractéristiques et les limites des connaissances scientifiques pour pouvoir comparer et opposer les notions scientifiques et les notions juridiques? Quelles données lui seraient utiles en matière d'interactions entre les sciences, la technologie et la société? Quelle attitude le juge doit-il avoir à l'égard des sciences et de la technologie pour instruire l'affaire en toute équité? Voilà sur quoi devrait porter un programme d'enseignement des sciences conçu en fonction des besoins des grands décideurs canadiens. (C'est là une perspective très différente de celle de la formation propédeutique en sciences, qui permet par exemple à l'étudiant de s'inscrire au cours de biologie 102.)

Pour être valable, la formation scientifique des décideurs de demain doit être axée sur des thèmes gradués soigneusement choisis, et comporter des exercices parallèles de prise de décisions. En d'autres termes, s'il est vrai que "Savoir, c'est pouvoir", les responsables de l'enseignement des sciences ne doivent pas se contenter d'assurer la transmission des connaissances, mais enseigner aux élèves à faire un bon usage du pouvoir qu'elles confèrent.

En élaborant de nouveaux programmes en ce sens, les autorités pédagogiques doivent rechercher un juste équilibre entre l'enseignement des matières traditionnelles, la pratique de l'investigation scientifique, les exposés sur la nature des sciences, et les exercices de prise de décisions en matière scientifique.

Prenons par exemple la notion de masse volumique. Les corps n'ont pas tous la même masse volumique; les moins denses ont tendance à s'élever et les plus denses, à se déposer. En elle-même, cette observation n'a rien de vraiment scientifique, mais on peut s'en servir pour étayer une argumentation, par exemple en matière de pollution atmosphérique, même sans comprendre le concept scientifique de masse volumique, c'est-à-dire "la masse de l'unité de volume d'un corps". Le profane n'est guère habitué à calculer des fractions portant sur des notions abstraites comme la masse et le volume, comme le montre bien l'emploi d'algorithmes tel D = M/V par les élèves. C'est pourquoi la méthode quantitative employée couramment dans les écoles canadiennes pour illustrer le calcul de la masse volumique se révèle inappropriée pour un grand nombre d'élèves. Il y a d'autres manières d'aborder cette question, par exemple en évoquant l'importance du concept de masse volumique pour la résolution des problèmes d'ordre écologique, industriel ou juridique. Si l'on ne trouvait pas d'applications de ce genre, on pourrait peut-être omettre le concept correspondant du sommaire du cours, sauf s'il y a des raisons sérieuses de croire qu'il aura pris une place importante à l'horizon 2000. Le choix de la matière à enseigner *ne doit pas* être effectué en fonction des connaissances nécessaires pour voir le monde dans l'optique d'un scientifique; il doit résulter des besoins de formation scientifique des autorités politiques, des cadres industriels et des instances juridiques qui doivent prendre des décisions.

Les simples citoyens

Dans leur automobile, Alice et Jean Durand écoutent les propos radiodiffusés d'un atomicien de Chalk River, lequel soutient qu'une centrale électronucléaire pollue moins qu'une centrale thermique brûlant du charbon. Partant de ce principe, confirmé par certaines données techniques, il affirme que la filière électronucléaire serait préférable à la filière charbonnière pour l'alimentation du réseau d'électricité. Puis l'animateur interroge un député de l'Alberta, qui brosse un tableau général de la production d'électricité par les deux procédés,

soulignant les limitations du point de vue adopté par l'atomicien. La conclusion du député contredit celle de l'homme de science. Le représentant du secteur privé et celui du pouvoir politique sont manifestement en désaccord. Comment Alice et Jean Durand peuvent-ils se former une opinion sur la question?

De façon générale, Alice et Jean doivent s'adapter à la société scientifique et technologique à laquelle ils appartiennent, ou essayer d'orienter son évolution. Lorsqu'ils ont à décider de l'achat, au supermarché, de produits alimentaires contenant des additifs chimiques, qu'ils se prononcent sur l'addition de fluorure à l'eau de boisson lors d'un référendum, ou encore qu'ils cherchent à interpréter les bulletins de nouvelles, ils sont aux prises avec les complexités changeantes de la société.

Parmi les cinq types de connaissances à inculquer aux classes de sciences:

1° les connaissances scientifiques,

2° la pratique de l'investigation scientifique,

3° les possibilités et les limites des sciences,

4° les interactions entre sciences et société, et

5° les sentiments et attitudes à l'égard des sciences,

lesquels aideront Alice et Jean Durand à se faire une idée sur le sujet? Le cinquième, celui des attitudes, influera fortement sur leur interprétation des faits courants; il pourrait même les amener à refuser d'écouter les propos de l'atomicien de Chalk River ou ceux du député albertain. Cependant, la connaissance des interactions entre sciences et société semble être celui qui leur serait le plus utile. Ils doivent aussi être conscients, et cette notion se rattache au troisième type de connaissances, que les sciences ne servent qu'à résoudre les problèmes scientifiques et, partant, qu'elles ne fournissent que certains éléments de solution aux questions économiques,

morales ou politiques telle la préférence à donner à l'énergie électronucléaire, plutôt qu'à la filière charbonnière, pour la production d'électricité. Ainsi, les données scientifiques et techniques ne constituent-elles pas la clé des divers problèmes, mais elles n'en sont pas moins des outils essentiels, d'où l'importance des deux premières catégories de connaissances à transmettre aux élèves du secondaire.

Ces deux types de connaissances peuvent servir d'autres façons au simple citoyen, par exemple l'aider à comprendre et à surveiller le déroulement des fonctions physiologiques, tel l'équilibre hormonal, à lire un thermomètre correctement ou à prêter attention aux étiquettes commerciales, par exemple pour déterminer si une bouteille de shampooing est de plus grande capacité qu'une autre.

Le simple citoyen a besoin d'une gamme étendue de connaissances. L'instruction comportant les cinq volets susmentionnés peut être qualifiée de "formation scientifique de base". Un programme d'enseignement conçu en fonction du simple citoyen serait analogue à celui destiné au décideur, car le premier est souvent appelé, dans la vie courante, à prendre des décisions, ne serait-ce que pour lire un article de journal sur des recherches scientifiques ou pour s'intéresser aux progrès de la science.

Voici quelques exemples, qui pourraient être tirés d'un programme d'enseignement des sciences dans une perspective sociale et qui montrent l'intérêt des questions scientifiques pour le grand public. Les ondes électromagnétiques sont à la base de toute une série de concepts scientifiques ayant trait à leurs propriétés. Ainsi, en matière d'émissions de radio, la justice a eu à connaître les activités d'une société de la Couronne, en Saskatchewan, qui brouillait les signaux vidéo reçus par un câblodistributeur. De même, l'utilisation du radar pose la question de la légalité des détecteurs d'excès de vitesse et des "trompe-gendarmes électroniques". Par ailleurs, les micro-ondes présentent des risques pour les porteurs de stimulateurs cardiaques. Mentionnons également l'emploi de la photographie à

l'infrarouge pour le dépistage du cancer ou la détection des feux de forêt et des déperditions thermiques des logements, en hiver; l'utilisation de la couleur et des techniques du laser pour l'automatisation des opérations de caisse dans les supermarchés; le rayonnement ultraviolet et le choix des crèmes protectrices appropriées, les effets biologiques des rayons X (port du tablier de plomb par les clients des dentistes); et les dangers du rayonnement alpha émis par les matières radioactives confinées.

Un certain nombre d'enseignants et de responsables pédagogiques de l'enseignement des sciences ont conçu, à l'intention du profane, des activités et des programmes intéressants et stimulants pour l'esprit, tels *Properties of Matter, Technology & Society Report Series, Interdisciplinary Approaches to Chemistry*, certains modules optionnels d'ALCHEM, *Environmental Chemistry, Consumer Chemistry Learning Activity Packages* et *Chemistry of Common Substances*[55].

Chercher à répondre aux besoins de l'enseigné ne signifie pas revenir à l'enseignement terre-à-terre de naguère quand, par exemple, on expliquait le fonctionnement d'un grille-pain. On pourrait plutôt utiliser cet article bien répandu pour étudier les échanges d'énergie profitables à l'humanité et les effets secondaires de la technologie. L'instruction des élèves en fonction de leur état futur de citoyen adulte exigerait naturellement d'eux, dans ce cas, une connaissance pratique des notions de différence de potentiel, d'intensité du courant, de résistance, de puissance consommée et d'énergie. Ainsi, le programme d'enseignement *ne s'inscrirait* pas dans le cadre de pensée du scientifique de carrière; il viserait plutot à former des étudiants utilisant le savoir acquis pour mettre au point de nouveaux gadgets.

Si les simples citoyens d'aujourd'hui avaient étudié à l'école secondaire les sciences en fonction de leur cadre de vie futur, leur perception des problèmes serait peut-être tout autre. Ainsi, en débattant avec des amis la réduction de la pollution automobile grâce

au développement des transports en commun, ils pourraient leur rappeler que l'apparition de l'automobile a mis fin au règne de la traction hippomobile, importante source de pollution urbaine. (Comme la situation actuelle serait différente si les inventeurs du XIX^{e} siècle s'étaient bornés à mettre au point des dispositifs antipollution pour chevaux!). Un enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société aurait suscité chez le grand public une perception différente des progrès techniques; la prise en considération des perspectives scientifiques et sociales, lors de l'élaboration du programme d'études en sciences[56], leur aurait permis de saisir les liens importants unissant celles-ci et la société canadienne. Étudier une discipline scientifique de façon abstraite, c'est faire preuve d'irréalisme; mais s'efforcer d'analyser les faits quotidiens sans l'aide des sciences, c'est se contenter d'une vue superficielle des choses[57].

Récapitulation

En envisageant l'adoption d'un programme d'enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société, à l'intention des élèves des écoles secondaires canadiennes, il importe de se faire une idée juste de la façon dont ceux-ci se serviront ultérieurement de leurs connaissances. Ils le feront à divers titres: comme scientifiques ou technologues de profession, décideurs éclairés ou citoyens avertis, chacun de ces rôles nécessitant un emploi différent du savoir acquis. C'est ainsi qu'ils contribueront aux progrès de la société canadienne. Comme le rôle de citoyen averti est le plus courant, ceux du scientifique de carrière ou du décideur n'étant qu'exceptionnels, les Canadiens ont raison d'exiger que les sciences leur soient enseignées dans une perspective sociale.

C. Les divers modes d'utilisation du savoir

On a vu comment l'utilisation des connaissances variait suivant les fonctions sociales exercées. Une brève analyse de ces différents modes d'utilisation permettra de mieux s'en rendre compte.

La mythologie grecque était avant tout pragmatique: elle aidait le citoyen antique à faire face aux périls qui l'assaillaient et à l'adversité. Les Grecs *s'imprégnaient* de leur mythologie luxuriante. Ils *associaient* leurs dieux ou leurs héros à leurs victoires et à leurs désastres. Ils *expliquaient* les faits du réel par l'intervention de divinités pourvues chacune d'attributs distincts. Ils *interprétaient* le Monde chacun à leur façon, en fonction de leur conception de cet univers mythologique. En somme, les Grecs de l'Antiquité utilisaient leurs notions mythologiques de diverses façons, leur condition sociale (esclaves, hommes du peuple, aristocrates, prêtres) jouant naturellement à cet égard un rôle déterminant.

Les sciences du XX^{e} siècle, avec leurs abstractions, leurs formules mathématiques et leurs "vérités" fondées sur des calculs probabilistes, sont certes bien différentes de la mythologie hellénique. Celle-ci était proche de l'homme; mais le langage abstrait et mathématique des sciences en a fait un cénacle inaccessible à bien des profanes[58,59,60]. Cependant, la mythologie grecque et les sciences modernes ont un point commun: ce sont deux modes d'explication du réel. Et de même que les habitants de la Grèce antique utilisaient leurs connaissances de diverses façons, ainsi font aujourd'hui les Canadiens.

H.S. Broudy (1969) conçoit quatre façons d'utiliser les connaissances scientifiques:

1. la mémorisation, qui consiste à apprendre les notions par coeur;

2. l'association, rappel des notions acquises par des représentations qui leur ont été associées;

3. l'extension, c'est-à-dire "l'action de résoudre un problème en le situant dans un cadre théorique plus large. Par exemple, on peut étendre les principes de la chimie organique à la lutte contre la pollution de l'air et de l'eau, ou les principes de la

mécanique à la mise au point de nouveaux modes de transport[61]".

4. l'interprétation, "qui consiste à analyser les données ou les faits, à évaluer leur pertinence et à reconnaître ceux qui n'ont pas de valeur scientifique[62]".

Selon H.S. Broudy, les trois premières fonctions incombent principalement aux spécialistes. Les scientifiques et les technologues doivent bien connaître non seulement les théories scientifiques, et pour cela faire appel à leur mémoire et à leur faculté d'association, mais aussi leurs divers champs d'extension; autrement dit, ils doivent savoir se servir des données scientifiques et techniques pour résoudre des problèmes concrets, car c'est à eux que s'adressent dans ces cas les entreprises privées et les organismes publics.

La quatrième fonction évoquée par H.S. Broudy, celle d'interprétation, constitue le thème du présent exposé. Il soutient que les habitants d'un pays utilisent leurs connaissances scientifiques presque uniquement pour interpréter les données ou les faits de la vie courante. Ainsi en est-il lorsque des ministres, des magistrats, des membres de conseils d'administration de sociétés ou de simples citoyens envisagent des problèmes sociaux à caractère scientifique. Ils se servent alors de leurs connaissances, scientifiquement fondées ou non, pour analyser une foule de situations complexes, pour se faire une opinion sur des questions faisant appel aux sciences et à la technologie, pour comprendre les reportages scientifiques présentés dans les journaux, les revues ou à la télévision, ou pour se rendre compte de la place qu'occupent dans la société les scientifiques et les technologues.

H.S. Broudy poursuit son analyse en distinguant *savoir objectif* et *savoir subjectif*. Ainsi l'élève pourra-t-il oublier les détails de la matière enseignée, telles la distinction entre genre et espèce ou les trois lois de Kepler, mais il retiendra toujours certains grands principes, tel celui, scientifique, d'une harmonie dans l'univers.

H.S. Broudy qualifie les faits enseignés de "savoir objectif", et les principes généraux de "savoir subjectif", idée proposée par M. Polanyi dans son ouvrage *Personal Knowledge*[63]. Le savoir objectif étant connaissance des faits, il s'acquiert habituellement en peu de temps. Le savoir subjectif, quant à lui, est un ensemble de perceptions propres à l'individu. (Alors que le premier se perd facilement, le second persiste). Le savoir subjectif est celui acquis par une personne ayant interprété un fait à sa manière; ce pourrait être par exemple les impressions justes ou fausses des élèves concernant les caractéristiques et les limitations des sciences, ou leurs relations avec la société canadienne.

On y verra peut-être une simplification exagérée, mais il semble qu'on puisse mettre en parallèle les cinq catégories de connaissances scientifiques décrites plus haut (à la page 18) et les distinctions établies par H.S. Broudy en matière de savoir. La figure II.2 montre ces rapports en fonction de l'enseignement traditionnel des sciences. Dans le système d'enseignement actuel, les troisième et quatrième catégories sont ordinairement escamotées, ce qui explique la multiplicité des idées fausses qu'entretiennent les Canadiens au sujet des sciences et de leurs relations avec la société canadienne[64]. Pour remédier à cette situation, il faudrait inscrire ces sujets au programme d'enseignement des sciences[65].

La perspective sociale proposée ici aux enseignants des sciences exige non seulement que les programmes d'études englobent toutes les catégories de savoir, mais aussi qu'ils fassent une place à la fonction d'*interprétation*, de façon à étendre la portée du savoir *objectif* au moins jusqu'à la quatrième catégorie. Cette nouvelle orientation de l'enseignement des sciences au Canada est illustrée à la figure II.3, qui est une variante de la figure II.2. La différence entre les deux figures réside dans le développement du domaine des fonctions de mémorisation, d'association et d'extension, et de celui du savoir objectif. Les élèves seraient donc appelés à mémoriser et à étendre les notions

et idées des catégories trois et quatre (et peut-être même cinq). En analysant des coupures de journaux, des articles de revue, des ouvrages ou des émissions télévisées concernant les sciences et la technologie, et en étudiant des oeuvres de science-fiction, des biographies d'hommes de science et des épisodes de l'histoire des sciences et des techniques, ils prendraient conscience des rapports qui existent entre les sciences, la technologie et la société canadienne. Pour évaluer leur degré de compréhension, leur professeur leur donnerait un article ou un extrait d'émission télévisée à analyser ou évaluer à l'aide des données fournies pendant le cours.

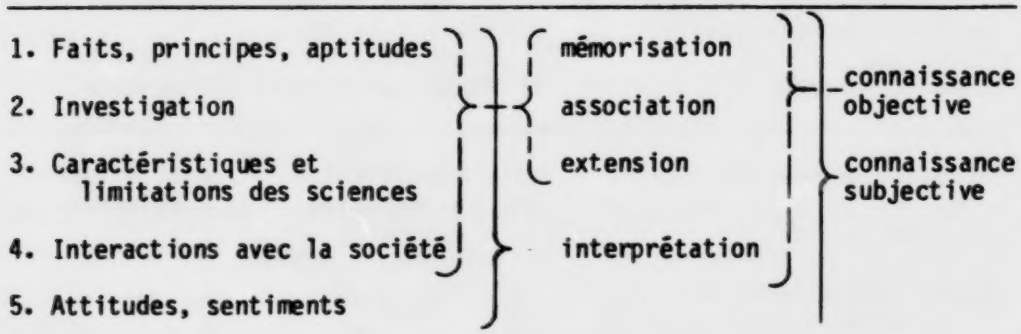
Figure II.2 - Enseignement des sciences à l'heure actuelle

Types de connaissances transmises lors des cours de sciences	Utilisation du savoir acquis en classe de sciences	Activité mentale
1. Faits, principes, aptitudes	mémorisation, association, extension	connaissance objective
2. Investigation		
3. Caractéristiques et limitations des sciences	interprétation	connaissance subjective
4. Interactions avec la société		
5. Attitudes, sentiments		

Autrement dit, il s'agirait d'élargir le champ de l'enseignement des sciences en y incluant les thèmes suivants: les caractéristiques et les limitations des sciences, leurs interactions avec la société, et peut-être également les sentiments des élèves à l'égard des sciences et de la technologie. Il en résulterait pour tous des obligations nouvelles et des avantages indéniables: *l'enseignant* des sciences devrait amener ses élèves à s'intéresser plutôt à l'interprétation des données ou des faits qu'à l'application des principes étudiés, comme c'est le cas présentement; quant à *l'élève*, au lieu d'apprendre toute une

série de notions abstraites qu'il aurait tôt fait d'oublier, il trouverait un intérêt personnel à scruter le Monde qui l'entoure; la *collectivité canadienne* de demain, pour sa part, se composerait de citoyens avertis, capables de participer véritablement à la prise des décisions et d'appréhender de façon juste leur société imprégnée par les sciences et la technologie, et non plus d'individus qui n'ont pu accéder au rang d'homme de science.

Figure II.3 - Enseignement des sciences dans une perspective sociale



H.S. Broudy résume son argumentation en affirmant que la formation générale des jeunes repose sur l'interprétation de l'information fournie en classe. La connaissance pratique de cette activité facilitera le débat concernant la mise en place, au Canada, d'un enseignement des sciences dans une perspective sociale.

D. La prise de décisions concernant les questions sociales à caractère scientifique

Le 4 septembre 2003, Marc Durand se rend à la boulangerie acheter du pain pour ses grand-parents. Il constate qu'il a le choix entre le pain de blé naturel et celui fait de blé issu des manipulations de biotechnologie agricole. Que faire?

Face à un tel choix, Marc ne sait sur quoi fonder sa décision. Ses motifs pourraient être de plusieurs ordres. La *science* pourrait lui venir en aide en lui faisant comprendre les mécanismes de la fusion chromosomique par recombinaison des molécules d'ADN, ou le phénomène de la fixation de l'azote. La *technologie* lui montrerait comment on modifie les cellules des feuilles du blé pour qu'elles fixent l'azote de l'air, fonction normalement remplie par les racines, et le renseignerait sur les risques sanitaires de l'ingestion de ce nouveau type de blé. Sur le plan *politique*, Marc pourrait penser aux bouleversements sociaux qu'entraînerait, tant pour les pays producteurs que pour les pays consommateurs, l'élimination des engrais azotés de synthèse. Un effort d'investigation mettrait au jour une série de décisions avisées prises par les autorités politiques, suite à la mise en oeuvre de programmes de recherches et de développement financés par l'État. Les arguments d'ordre *économique* ou *commercial* aideraient Marc à déterminer lequel des deux pains constitue le meilleur achat. En outre, certaines données techniques en matière d'alimentation rationnelle pourraient lui être utiles. La connaissance des méthodes de commercialisation et des techniques publicitaires pourrait également lui servir, notamment à déceler l'effort de persuasion inclus dans les messages. Il pourrait, par ailleurs, se demander quelle branche il devrait encourager: une industrie naissante exigeant de nouveaux capitaux et offrant des possibilités d'investissement, ou le secteur traditionnel de la boulangerie, tout entier occupé à rentabiliser ses immobilisations. Il se peut que Marc ne soit pas au courant des décisions *juridiques* marquantes qui ont accordé des droits de brevet aux entreprises industrielles fabriquant des produits comme le blé issu des manipulations de biotechnologie agricole. En outre, ce problème soulève une foule de questions d'ordre *moral*: une découverte scientifique qui perturbe le cours de l'évolution des êtres vivants mérite-t-elle notre appui? La collectivité saisit-elle bien les conséquences lointaines et subtiles de la manipulation du patrimoine génétique? Jusqu'où ira l'Homme dans son effort de domination de la Nature?

Cet exemple du choix d'un pain est peut-être poussé à l'extrême, mais il illustre bien notre propos. Comment un Canadien peut-il se faire une idée sur une question sociale à fondement scientifique? Pour le savoir, le lecteur peut consulter les ouvrages décrivant des méthodes de prise de décisions, tel *Developing Decision-Making Skills*, de D. Kurfman[66], ou le matériel didactique conçu spécialement à cette fin, par exemple *CoRT Thinking Lessons*, par Edward de Bono[67], ou *Deciding*, élaboré par le *College Entrance Examination Board* de New York[68].

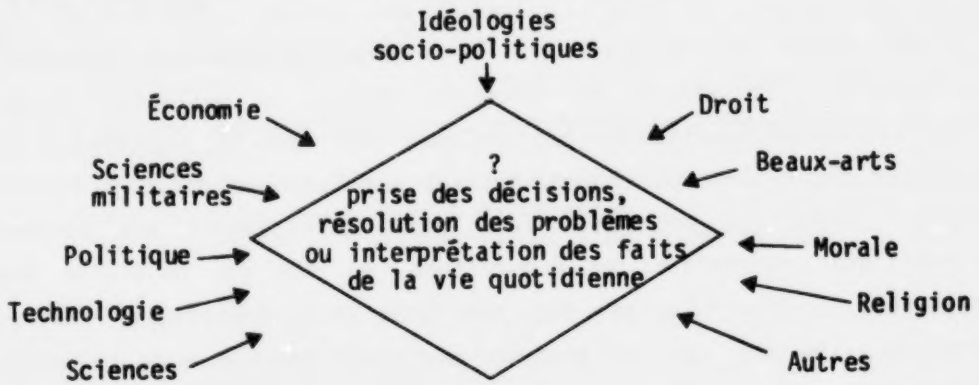
L'expérience de Marc permet une constatation importante: nos décisions sont influencées par une foule de facteurs et de considérations d'ordre social. La figure II.4 montre un certain nombre de ces paramètres*. Ils semblent à première vue se distinguer nettement, mais en fait ils se recouvrent, certains plus que d'autres. Nous les énumérons pour aider à clarifier les situations complexes et confuses de la vie concrète. Ils évoquent les diverses branches du savoir qui nous aident à comprendre un article de journal, une manchette du téléjournal ou l'avis d'un expert.

Pour éviter tout malentendu, nous décrirons brièvement les sphères d'activité mentionnées à la figure II.4 sans en donner des définitions rigoureuses. La science, d'abord et avant tout le fruit de la curiosité de l'esprit, est l'étude empirique des phénomènes naturels en vue de les décrire et de les expliquer. La technologie (sciences appliquées, génie, etc.) s'occupe surtout d'améliorer la qualité de la vie par l'élaboration de produits et de procédés utiles. La politique est l'art de gouverner sur les plans municipal, provincial, national ou international. Les sciences militaires constituent le domaine d'activité des forces armées. L'activité économique, régie par les autorités publiques, concerne le monde des affaires et les entreprises industrielles. L'idéologie socio-politique, par exemple le socialisme ou le

*Il ne nous appartient pas de dresser ici une liste complète des facteurs sociaux en jeu.

capitalisme, désigne les valeurs qui se rattachent aux convictions politiques d'un groupe social. Le Droit s'exerce par le truchement de l'appareil judiciaire, et par les organismes d'application des lois. Les beaux-arts comprennent la littérature, la musique, le théâtre, les arts visuels, etc. Les considérations morales étayent un ensemble de jugements de valeur dont a fait des règles et des préceptes, et qui indiquent par exemple quelle voie suivre, et comment se comporter. La religion a des rapports étroits avec la morale, mais elle constitue en outre une institution sociale. La catégorie "autres" indique que l'énumération est incomplète.

Figure II.4 - Les divers facteurs influençant la prise des décisions



On pourrait penser qu'un programme d'enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société devrait faire entrer en ligne de compte *tous* les facteurs mentionnés à la figure II.4. Or, cela est faux, car ils n'interviennent pas tous à la fois. Il importe donc de déterminer ceux qui ont un rôle à jouer. Par contre, l'ignorance de certains facteurs en jeu conduit à des décisions médiocres. C'est le danger auquel s'exposent les individus qui nient aux sciences tout pouvoir de résoudre, dans une certaine mesure, les problèmes d'ordre social.

L'étape suivante consiste à déterminer le domaine social dont relève la décision finale. Dans le cas des résultats de l'alcotest et des droits de brevet pour la production de nouveaux organismes vivants par recombinaison des molécules d'ADN, il appartenait au secteur judiciaire de trancher. Le lancement d'une bombe nucléaire sur Hiroshima a été un geste politique. La mise au point de la télévision en couleurs a été une réalisation technologique. Chaque domaine d'activité (en l'occurrence le Droit, la politique et la technologie) possède son propre bagage de connaissances et son propre processus décisionnel. Aussi les règles régissant la prise des décisions diffèrent-elles sensiblement selon que celles-ci sont prises par des juristes, des hommes politiques, des technologues ou des scientifiques*. De cette constatation capitale se dégagent deux points importants.

Le premier est illustré dans la brochure *Science and Political Decisions*[69]. En fixant des plafonds légaux de pollution saturnine, les hommes politiques britanniques ont observé les règles du processus décisionnel politique, suivies par les assemblées parlementaires. Mais ils ont aussi fait appel expressément aux données scientifiques, techniques et économiques, et ils ont peut-être été influencés, à leur insu, par des idéologies socio-politiques. Autrement dit, ils ont fait intervenir les connaissances scientifiques, techniques et économiques dans le mécanisme politique. Lorsqu'on combine plusieurs branches d'activité, les règles régissant l'une d'entre elles supplantent inévitablement celles des autres[70]. En l'espèce, les données des branches auxiliaires (les sciences, la technologie et l'économie) sont évaluées en fonction de leur utilité, de leur valeur et de leur crédibilité face au domaine principal d'activité, la politique. Ainsi, dans la résolution de bien des problèmes sociaux à fondement scientifique, les données scientifiques sont

*Ce qui n'exclue pas l'existence de points communs. Nous examinons ici les différences fondamentales pour mettre en évidence les problèmes que peut poser la prise des décisions concernant des questions relevant des sciences.

nécessairement subordonnées aux considérations sociales qui motivent la décision finale. Il n'en résulte pas que les connaissances scientifiques soient laissées de côté ou n'aient pas de poids, mais simplement qu'étant placées dans un cadre différent, elles sont traitées d'autre manière.

Le deuxième point découle tout naturellement du premier. L'homme de science ne peut transposer un argument scientifique dans le domaine de la religion sans perdre sa crédibilité. De même, les données idéologiques ne peuvent servir à étayer une argumentation scientifique, comme le montre bien l'affaire Lyssenko[71]. Les conceptions religieuses, comme le récit de la Création, ne peuvent être intégrées rationnellement aux connaissances scientifiques. En somme, les types de connaissances utiles aux Canadiens (dont on trouve une liste partielle à la figure II.4):

- exigent que les décideurs s'en servent en s'inspirant de règles différentes;
- reposent sur des postulats différents;
- ont des finalités sociales différentes;
- et constituent différentes façons d'envisager le Monde.

Voilà pourquoi le scientifique qui adopte un cadre de référence différent du sien, par exemple moral ou politique, perd de sa crédibilité. C'est ainsi que s'explique, du moins en partie, le sentiment de déconvenue de certains scientifiques qui ne saisissent pas la différence entre la démarche scientifique et celle propre aux autres secteurs d'activité. Les organismes collectifs peuvent avoir besoin d'information scientifique et technique, mais les normes dont ils se serviront pour apprécier leur utilité ne seront pas scientifiques, mais juridiques, morales, politiques, etc. Ainsi les connaissances scientifiques utilisées dans un cadre autre peuvent-elles perdre certains de leurs traits distinctifs, tel leur caractère hypothétique faute de vérification, et partant être susceptibles de mauvais emploi ou de fausse interprétation. Nous examinerons brièvement cette question un peu plus loin.

Il en découle des exigences importantes pour les enseignants des sciences. Comme l'approche rationnelle des problèmes sociaux relevant des sciences doit se fonder sur la détermination de leurs diverses incidences sociales, il faudra apprendre aux élèves à identifier rapidement les groupes concernés avant d'entreprendre l'étude des relations entre les sciences et la société. Ainsi, les élèves de dixième année qui suivent le programme "Les sciences, un mode de connaissance", en Saskatchewan[72], étudient-ils dans leurs grandes lignes les objectifs de la politique, des arts, de la logique, de l'économie, de la technologie, de la religion et des sciences, ce qui leur permet d'analyser plus rationnellement les situations de la vie concrète, et leur montre que la démarche scientifique n'est qu'*une façon* parmi bien d'autres d'envisager un problème social.

On comprend que les enseignants se sentent submergés par l'abondance et la diversité du savoir véhiculé par un enseignement des sciences dans une perspective sociale. Ils sont portés à s'encoquiller dans leur discipline, mais cela n'est pas justifié, car il leur suffirait d'examiner sommairement les secteurs d'activité concernés par le problème en question en laissant aux scientifiques eux-mêmes le soin d'analyser en profondeur ses diverses incidences.

Prenons par exemple la crise énergétique. Un programme d'enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société mettrait en relief plusieurs de ses incidences sociales: politiques (l'indépendance des pays consommateurs et la position de force des pays producteurs), économiques (les sommes déjà investies dans la construction des centrales électronucléaires et des installations hydroélectriques, et le manque de ressources financières à affecter au développement de nouvelles filières, telles celles de l'énergie solaire et de l'énergie marémotrice), morales (réduction du train de vie en vue d'économiser l'énergie), sur le plan de l'idéologie socio-politique (le développement des filières énergétiques à assumer par l'État, le consommateur ou les entreprises industrielles), techniques (les centrales

électronucléaires et les batteries de cellules photovoltaïques), et enfin scientifiques (décroissance radioactive, irradiation, confinement des résidus radioactifs, pluies acides, économies et transformations énergétiques, principe de Carnot et nature de l'électricité). Après avoir passé en revue tous les aspects du problème, les élèves étudieraient de façon explicite l'apport des sciences. Ainsi ne leur paraîtraient-elles pas *coupées* de la vie réelle, mais intégrées à celle-ci. Nous soulignons encore une fois que dans l'étude des rapports entre les sciences et la société, enseignants et élèves n'ont qu'à *identifier* les institutions sociales (figure II.4), et non pas à être versés au sujet de chacune d'elles. Naturellement, plus l'éventail des connaissances dont on dispose est large, plus on a de chances de prendre des décisions justes. Toutefois, dans un enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société, la décision finale n'est pas, malgré tout l'intérêt qu'elle présente, la finalité ultime, mais plutôt l'instrument du débat.

Au cours des débats des autorités ou du grand public concernant des problèmes collectifs, les connaissances scientifiques sont plus souvent *mal utilisées* que laissées de côté. L'attitude du ministre fédéral responsable dans le débat sur l'avortement le montre bien. Parmi les autres exemples bien connus, mentionnons: le recours à un argument politique pour étayer des données scientifiques devant un tribunal, l'utilisation de la théorie biologique de la sélection naturelle pour justifier une doctrine socio-politique, la suprématie raciale; l'emploi de la théorie de la relativité pour montrer que tous les points de vue sont acceptables dans l'ordre moral, et l'utilisation de la valeur incontestable des méthodes d'investigation particulières aux sciences physiques pour justifier des expériences sociales, psychologiques ou médicales condamnables. Si l'on veut empêcher la répétition de ces erreurs dans l'avenir, il faut étayer le raisonnement en matière de problèmes collectifs à portée scientifique, sur une détection intuitive des données sans valeur scientifique sûre[73]. L'étude

des interactions des sciences avec la société canadienne devrait donc comporter un apprentissage de cette activité de l'esprit.

Ce sont souvent les scientifiques qui *posent* les questions poussant un problème collectif au premier plan des préoccupations. Il en a été ainsi pour les recherches sur la recombinaison des molécules d'ADN, qui ont eu des répercussions sur les plans moral, politique, économique et juridique[74]. L'orientation des recherches a amené les autorités publiques à se prononcer sur la question.

Examinons maintenant le phénomène opposé. Dans quelle mesure la société, avec ses multiples facettes, influence-t-elle les décisions concernant les programmes de recherches à entreprendre? Qu'ont fait les scientifiques, dans le passé, lorsque la responsabilité première d'une décision leur incombait?

La question du financement de l'effort de recherche scientifique montre bien le rôle que jouent les autorités dans le choix des programmes de recherches à mettre en oeuvre. Ainsi la politique de l'Administration fédérale en matière de financement exclusif de la recherche appliquée pourrait-elle entraîner une réduction marquée du nombre de scientifiques canadiens accomplissant de la recherche fondamentale[75]. Les décisions des scientifiques sont donc véritablement influencées par le contexte social. Pour s'en rendre compte, les élèves n'ont qu'à jouer au jeu de simulation "Prix Nobel" inclus dans le onzième volet du programme "Les sciences, un mode de connaissance"[76].

Voici un autre exemple montrant ce qui arrive lorsque les scientifiques assument la responsabilité première d'une décision. Celle de mener ou non des expériences en matière de recombinaison de molécules d'ADN était une responsabilité *sociale* que les scientifiques ont fondamentalement assumée. Ils se devaient de prendre une décision juste. On voit dès lors que les hommes de science ont *vraiment* des obligations sociales. Ainsi, lorsqu'ils étudient le processus déci-

sionnel en matière de choix collectifs relevant des sciences, les élèves doivent-ils envisager les responsabilités sociales des scientifiques. Se fondant sur certains cas historiques marquants, E. Mendelsohn propose aux praticiens des sciences quelques règles à suivre pour prendre de sages décisions[77]. La plupart des publications concernant les sciences et la société traitent des responsabilités sociales des scientifiques[78]. Celles-ci sont illustrées, à l'heure actuelle, par le débat entourant la réalisation de certains programmes de recherches sur le cancer. Il semble donc que les scientifiques et les technologues subissent l'influence des forces politiques et économiques[79].

L'adoption d'une optique sociale par les enseignants des sciences entraînerait des conséquences particulières. Ces responsables doivent donc se rendre compte que le rôle des élèves consisterait:

1) non pas à trouver une solution aux problèmes, mais à se faire une idée de la contribution possible des sciences sur ce plan; ils n'obtiendraient donc pas de "réponses exactes", comme dans les cours de sciences traditionnels;

2) à apprendre la matière scientifique utile pour comprendre le rôle éventuel des sciences (l'ordre à suivre pour l'étude de ces deux sujets, la matière scientifique elle-même ou l'incidence sociale, peut varier selon le contexte);

3) à étudier les caractéristiques et les limitations des sciences par l'analyse de leurs interactions avec les autres sphères d'activité, autrement dit à déterminer les possibilités des sciences et les contraintes qu'elles imposent;

4) à développer une conception personnelle (subjective) des sciences, fondée sur la réalité sociale canadienne et non sur des affabulations;

5) à s'exercer à porter des jugements personnels, critiques et justes, mais pas nécessairement conformes à ceux de l'enseignant;

6) à déterminer les facteurs à considérer pour prendre une décision collective, en classe, concernant un problème collectif à fondement scientifique.

Au début du chapitre, nous avons donné l'exemple du choix d'un pain à la boulangerie, mais sans préciser si Marc avait opté pour le pain de blé naturel ou celui fait de blé issu des manipulations de biotechnologie agricole. Pour satisfaire la curiosité du lecteur, disons qu'en l'an 2003 Marc n'a que quatre ans et ne peut atteindre que la tablette du bas, chez le boulanger; il a donc acheté le pain de blé naturel parce qu'il se trouvait à sa portée (ce mobile entre dans la catégorie "autres" mentionnée à la figure II.4).

Récapitulation

Les décisions en matière de choix collectifs sont prises en fonction de bien des facteurs, dont les données scientifiques. De même, les décisions des scientifiques au sujet des programmes de recherches à entreprendre sont basées sur des considérations de différents ordres.

Avant de prendre une décision ayant une incidence sociale, il faut examiner les différents aspects à considérer, puis déterminer celui qui joue un rôle prépondérant. Les élèves peuvent apprendre à connaître les différentes sphères d'activité collective en étudiant leurs principaux traits distinctifs.

Il n'est pas nécessaire, dans les cours de sciences, d'analyser en détail tous les facteurs qui peuvent entrer en ligne de compte dans un choix collectif. Il suffit d'approfondir l'aspect scientifique, qui englobe la matière enseignée traditionnellement, les caractéristiques et les limitations des sciences, et la responsabilité sociale des scientifiques.

En transposant les données scientifiques dans un autre contexte, on risque de se tromper. Hors de leur cadre normal d'utilisation, les données et les méthodes des sciences sont susceptibles de mauvais emploi. C'est pourquoi il est si important que le décideur apprenne à déceler les sophismes. Dans le même ordre d'idées, le scientifique perd forcément de sa crédibilité lorsqu'il se prononce sur une question morale ou politique.

Quel que soit le rôle qu'ils joueront dans la société, tous ceux à qui on a enseigné les sciences se serviront des connaissances acquises pour appréhender le monde qui les entoure, et pour prendre des décisions. Or ce monde, c'est-à-dire la société canadienne, se transforme rapidement sous l'action des sciences. Une perception réaliste de ces interactions permettra aux citoyens canadiens de bien comprendre leur société et de prendre des décisions éclairées.

III CARACTÉRISTIQUES ET LIMITATIONS DES SCIENCES

Introduction

Dans le présent chapitre, nous nous efforcerons de mettre en relief certaines caractéristiques et limitations importantes de l'activité scientifique. Il importe de clarifier cette question afin d'élaborer des moyens didactiques propres à faciliter le genre d'enseignement des sciences décrit précédemment.

Parmi les nombreuses facettes d'un enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société, il en est une qui ressort nettement: celle des possibilités et des contraintes de la connaissance et de la pensée scientifiques. Les tribunaux canadiens se heurtent tous les jours à cette difficulté, par exemple dans les affaires de conduite automobile en état d'ivresse. Les hommes d'affaires, les cadres industriels et les hauts fonctionnaires risquent fort de prendre des décisions erronées lorqu'ils négligent de tenir compte des limitations des sciences, comme le montre la position prise par le ministre fédéral responsable lors du débat sur l'avortement. Le citoyen non éclairé n'est pas en mesure de se rendre compte des limites que ne peuvent raisonnablement franchir le scientifique et le technologue, malgré le redoutable pouvoir dont ils disposent. Son acceptation inconditionnelle du choix effectué par un atomicien de Chalk River, se fondant sur des considérations économiques, en faveur du développement de la filière électronucléaire et non charbonnière, illustre bien ce point.

Ces exemples montrent la nécessité de prendre en considération les caractéristiques et les limitations des sciences. J'en ai fait l'expérience avec un groupe d'élèves de dixième année à Saskatoon; ils cherchaient à saisir les interactions entre sciences et société. Leur simplisme les empêchait de distinguer les données scientifiques des données religieuses ou autres. Leur crédulité juvénile les portait à donner plus d'importance à l'argument d'autorité qu'au contenu de la communication. Avant de pouvoir aborder effectivement la question des relations entre les sciences et la société, ils devaient apprendre à connaître: a) les caractéristiques des sciences, et b) les limites qu'elles doivent respecter lorsqu'elles ont des interactions avec d'autres sphères de l'activité collective.

A la suite de cette expérience acquise à Saskatoon, Reg Fleming et moi-même avons élaboré, à l'intention des élèves de dixième année, un programme d'enseignement des sciences d'une durée d'un an. Intitulé "Les sciences, un mode de connaissance"[1], il a notamment pour objectif d'informer les élèves sur les caractéristiques et les limitations de l'activité scientifique. Il est décrit et évalué dans d'autres documents[2]*. Nous nous en servirons ici pour étudier l'instruction des élèves de dixième année en matière de caractéristiques et de limitations des sciences.

Les ouvrages sur les rapports entre sciences et société abordent toujours la question des caractéristiques et des limitations des sciences avant celle de leurs interactions avec la société[3-7]. Nous traiterons ci-dessous de la première, mais sans en faire un examen rigoureux et exhaustif.

La nature des sciences

Les épistémologues des sciences ne cessent de discourir sur la nature de la science. Nous n'entendons pas analyser ici ce débat. Cependant,

*On trouvera en annexe un exposé du contenu de ce programme pédagogique.

le lecteur voudra bien noter qu'en montrant comment nous percevons les caractéristiques et les limitations des sciences, nous adoptons une "attitude" bien précise. L'auteur reconnaît volontiers que son programme pédagogique "Les sciences, un mode de connaissance" a été influencé par les idées de J.J. Schwab[8] et de T.S. Kuhn[9].

L'objet premier de l'activité scientifique

Les objectifs du scientifique sont divers: soif de prestige, motifs humanitaires, quête de la "vérité", etc. Toutefois, les hommes de science reconnaissent en général que l'objet premier de leur activité est la satisfaction de la curiosité humaine à l'égard des phénomènes naturels. Le champ de l'activité scientifique s'arrête là. Au delà se trouvent d'autres domaines telles la technologie, la religion et, pourquoi pas, les pseudo-sciences.

Sciences et technologie

Cet "objet premier de l'activité scientifique" nous aidera à distinguer sciences et technologie. Pour décrire ou expliquer un phénomène naturel, il faut s'adresser à un scientifique. Pour résoudre un problème, par exemple, déterminer la valeur d'un produit pharmaceutique, il serait plus avisé de recourir aux services d'un expert compétent sur le plan scientifique, mais possédant aussi une foule de connaissances pratiques d'utilité immédiate pour cette évaluation.

Voilà ce qu'est la technologie: c'est l'application des sciences. Son objet primordial est d'assurer le mieux-être de l'Homme grâce à l'élaboration de produits et de procédés répondant à des besoins particuliers. "Les sciences décrivent le monde tel qu'il est, la technologie le façonne de manière à satisfaire les aspirations humaines[10]". Les programmes de recherches sur le cancer et les programmes spatiaux sont, dans une large mesure, des réalisations technologiques. Il y a naturellement des activités qui relèvent tant des sciences que de la technologie, et on peut être en même temps scientifique et technologue.

Les sciences et la technologie sont interdépendantes. Celle-ci révèle aux premières de nouveaux phénomènes (par ex. grâce à l'invention de la machine à vapeur) et leur fournit des instruments nouveaux ou améliorés. L'activité scientifique est donc tributaire des techniques existantes. En revanche, c'est à elle que la technologie doit la description et l'explication des phénomènes naturels.

Pour réfléchir lucidement sur les problèmes qui se posent, les grands décideurs et l'ensemble des citoyens doivent absolument faire cette distinction. Elle les aidera à échapper aux sophismes évoqués par les problèmes relevant des sciences[11].

> "Une bonne part des grandes décisions économiques, politiques, sociales, scientifiques et individuelles qui seront prises d'ici l'an 2000 reposeront sur une juste appréhension des possibilités et de l'orientation de la technologie[12]".

Les contacts de la plupart des Canadiens avec les sciences sont indirects: celles-ci se manifestent à eux par la voie des progrès techniques*. Pour eux, la technologie est une passerelle jetée entre les sciences et la société. Rien d'étonnant, dès lors, à ce que les élèves trouvent que les cours de sciences sont coupés de la réalité quotidienne. Le monde des sciences leur apparaît comme une abstraction, alors que la technologie se révèle comme une expérience concrète, intégrée à la vie quotidienne. G.W.F. Orpwood et D.A. Roberts ont montré comment la technologie s'insérait bien dans un cours de sciences tenant compte de leurs relations avec la société[13].

Dans "Les sciences, un mode de connaissance", l'élève apprend d'abbord à distinguer sciences et technologie en classant une série de

---

*A strictement parler, il faudrait employer l'expression "interactions des sciences et de la technologie avec la société" pour décrire le lien particulier qui unit les deux premières. Toutefois, l'expression "interactions des sciences avec la société" suffit, à condition de bien se rappeler que la technologie est l'un des nombreux champs d'activité collective. Pour désigner une activité englobant à la fois les sciences et la technologie, il faudrait préciser pour éviter toute confusion.

questions dans l'une ou l'autre catégorie, qui sont dès lors considérées à part.

La fiction de la méthode scientifique

Une description générale de l'activité du scientifique peut être utile à l'élève. Mais, malheureusement, celui-ci peut facilement avoir l'impression (connaissance subjective) que les "cinq étapes de la méthode scientifique" constituent pour tous les scientifiques un moyen infaillible de résoudre les problèmes et d'accroître la masse du savoir. Le postulat d'une méthode scientifique engendre le scientisme, ou tout au moins une conception simpliste des sciences. Or l'existence d'une telle méthode est dans une large mesure une fiction.

Pour résoudre un problème social intéressant les sciences, il importe au plus haut point de les concevoir de façon réaliste, et non simpliste. Sinon, on exigerait des scientifiques des avis ou des résultats dépassant leurs capacités.

"Les sciences, un mode de connaissance" présente la "méthode scientifique" comme une fiction, et les élèves étudient cet aspect à plusieurs reprises.

L'observation scientifique des phénomènes

Un "fait scientifique" prête moins à la contestation qu'un "principe moral". Pour une raison ou pour une autre, nous accordons plus de crédibilité au fait scientifique, et partant nous nous laissons souvent berner.

Le programme pédagogique britannique *Science in Society*[14] consacre un volet entier à l'observation scientifique des phénomènes, ce qui est une façon d'envisager les caractéristiques et les limitations des sciences. Dans *How We Know*, M. Goldstein et I. Goldstein décrivent la façon dont procèdent les scientifiques pour établir un fait[15]. L'explication d'un phénomène doit faire l'objet d'un consensus avant d'être considérée comme scientifique. On comprend dès

lors qu'une donnée scientifique puisse susciter des controverses. Les explications scientifiques reposent donc généralement sur des postulats.

> "Pour le choix des phénomènes à expliquer, nous nous fondons dans une large mesure sur une évaluation préliminaire de leur importance"[16].

Les scientifiques peuvent différer radicalement d'opinion concernant la valeur des faits observés. Parlant de ceux-ci, M. Goldstein et I. Goldstein font observer:

> "... qu'ils comportent un élément humain, et ne constituent pas un reflet fidèle de la réalité, même s'il peut s'agir d'objets aussi palpables et tombant sous le sens qu'un camion de dix tonnes"[17].

L'idée que les sciences consistent en un ensemble de théories expérimentalement vérifiables, agencées de manière ordonnée et ralliant tous les scientifiques est contraire à toute conception réaliste de l'activité scientifique. Ce genre de description convient mieux à un annuaire téléphonique qu'aux sciences.

Le caractère partiel des interprétations scientifiques va de soi, mais il importe de le rappeler. Ainsi la Cour suprême du Canada n'a-t-elle pas reconnu que les relevés établis à l'aide d'instruments comportaient une marge intrinsèque d'erreur. Les attitudes jouent un rôle important lorsqu'il s'agit de déterminer l'importance d'une donnée scientifique. Celui qui a une conception mécaniste du monde aura sûrement du mal à s'entendre sur ce point avec un partisan de la théorie globaliste.

C'est s'engager dans un cercle vicieux que de prétendre qu'une explication est valable parce qu'un grand nombre de scientifiques l'admettent, car on leur a enseigné au départ à voir le monde de la même façon. L'unanimité en cette matière n'est pas un gage de vérité incontestable, mais plutôt d'utilité.

Lorsque les sciences viennent en contact avec d'autres sphères d'activité, elles se retrouvent en terrain inconnu. Une théorie scientifique n'a plus la même valeur lorsqu'elle est transposée dans un autre domaine ou placée dans un contexte différent. Comme il a été dit plus haut, la valeur du raisonnement scientifique dépend de la sphère d'activité où il s'insère. Au premier abord, cette réalité déroute l'élève de dixième année, car on lui a enseigné qu'un phénomène est un phénomène, sans plus.

Le raisonnement scientifique

Pour l'élaboration de leurs théories, les hommes de science se servent de règles logiques. Pour saisir la nature de l'activité scientifique, il faut donc s'initier à ces règles. Le troisième volet du programme "Les sciences, un mode de connaissance" porte sur les critères de véracité, les vices classiques de raisonnement (pour aider à déceler les sophismes) et l'étude comparative des raisonnements par déduction et par induction.

Les règles du raisonnement par induction diffèrent de celles du raisonnement par déduction. Admettre un postulat ou partir d'une série d'observations pour en tirer une loi générale, c'est procéder par induction. Se servir de ce postulat ou de cette loi pour prévoir le déroulement d'un phénomène, c'est raisonner par déduction.

Les prévisions scientifiques se fondent sur les règles de la déduction, tandis que la méthode inductive employée par les hommes de science repose sur l'utilisation d'intuitions. C'est de la fiction de prétendre que le raisonnement scientifique est juste ou erroné: en fait, les *déductions* scientifiques sont correctes ou non. Mais l'adhésion à un raisonnement scientifique *par induction* est fonction d'un certain nombre de décisions arbitraires, et c'est là une des grandes contraintes de la pensée scientifique. Donnons-en un exemple, tiré de la technologie.

Les fioles utilisées dans l'éthylomètre de Borkenstein sont fabriquées en série. Un technicien du service de police effectue, pour chaque lot, un contrôle qualitatif en prélevant un échantillon de fioles et en soumettant chacune d'elles à un essai chimique. Mais combien de fioles de chaque lot faudrait-il vérifier pour être certain qu'elles sont toutes satisfaisantes? Si 5 pour cent d'entre elles répondent aux normes, peut-on étendre cette conclusion, par induction, à l'ensemble du lot? Il n'y a ni bonne ni mauvaise réponse, en l'occurrence, mais seulement une convention et une probabilité. Que faire si l'une des fioles, dans un échantillon de dix, n'est pas satisfaisante? Dans le cas de l'éthylomètre de Borkenstein, tout le lot serait renvoyé. Mais dans certains domaines techniques (par exemple lorsqu'il s'agit d'interpréter les lectures maximales), on admet volontiers un résultat douteux sur dix. Qui doit décider? C'est par consensus que les praticiens des sciences procèdent ordinairement.

Ainsi le raisonnement scientifique *par induction* se fonde-t-il sur un consensus entre hommes de science, qui tracent ainsi un cadre limitatif au recueil des connaissances.

L'un des cas de raisonnement par induction étudiés dans "Les sciences, un mode de connaissance" (volet 7) est la théorie du développement de la connaissance scientifique, élaborée par Piaget. L'élève détermine le nombre d'observations nécessaires pour être personnellement convaincu de la valeur d'une généralisation des conclusions tirées. La comparaison du nombre des échantillons utilisés en psychologie et en chimie montre pourquoi les expériences réalisées sur les molécules sont plus concluantes que celles du psychologue: les échantillons nombreux facilitent le consensus.

On peut illustrer la méthode déductive employée par les scientifiques à l'aide de l'éthylomètre de Borkenstein. Supposant que toutes les conditions expérimentales sont réunies, le technicien qui relève le chiffre 60 sur l'instrument en conclut que 1 litre de sang contient de

0,5 à 0,7 g d'alcool. Toutes les lois et théories scientifiques sur lesquelles est basé l'instrument concourent à cette conclusion.

La croyance en ces lois et théories nous prédispose à nous en servir, mais elle ne garantit pas leur vérité absolue. C'est dans cet esprit réaliste que les Canadiens doivent appliquer leurs connaissances scientifiques à la résolution des problèmes collectifs.

Le rôle de l'imagination dans les sciences

On a comparé la connaissance scientifique à une carte routière[18]. Les cartes sont très utiles pour des besoins particuliers. Prenons par exemple la carte routière de la Saskatchewan. Si l'on veut se rendre à Warman en voiture, la carte indiquera l'emplacement de cette localité, les routes à emprunter, leur nature, les terrains de camping situés le long du parcours, la population approximative de la ville, et elle précisera s'il s'y trouve un aéroport international. Une carte pédologique pourrait renfermer des données sur la nature du sol, les types de végétation de la région et son relief.

Mais malgré toutes ces informations, le touriste n'a aucune idée de l'aspect de la ville ni de la situation de son marché immobilier, et des dissensions que le projet de construction d'une raffinerie d'uranium a suscitées au sein de la population.

Pour vraiment connaître la ville de Warman, il faut s'y rendre. Mais pour en avoir une représentation schématique, une carte suffit. Les cartes représentent la réalité, mais de manière très incomplète.

Il en est de même de la connaissance scientifique. Modèles, schémas de classement, équations, hypothèses, concepts et phénomènes sont autant de représentations utiles de la réalité. Ils sont le fruit de l'imagination humaine confrontée à la réalité, mais non la réalité elle-même. Sir Arthur Eddington a exprimé cette idée comme suit:

> "Ayant trouvé une empreinte de pied sur un rivage inconnu, nous avons élaboré toute une série de savantes théories pour en

> expliquer l'origine et, une fois reconstituée la créature qui avait laissé cette empreinte, nous avons constaté avec étonnement que c'était l'Homme".

Cette conception de la science contredit le dogme qui fait d'elle un reflet fidèle de la réalité et la représentation de l'ultime vérité.

Dans le deuxième volet du programme "Les sciences, un mode de connaissance", les élèves apprennent à distinguer le "réel" et la "perception du réel". La première leçon porte sur les illusions d'optique, puis l'élève applique cette distinction à la connaissance scientifique elle-même en comparant la découverte d'une théorie scientifique à celle d'un gisement aurifère.

Voici un exemple qui aidera peut-être à saisir la différence. Supposons que nous examinions la question des derniers moments vécus dans la dignité. Si nous invoquons une donnée scientifique pour étayer notre thèse, nous ne nous fondons pas sur la réalité, mais sur la perception intellectuelle de cette réalité. A quel moment la personne cesse-t-elle de vivre? Les sciences ne peuvent fournir une description objective de ce fait, en l'occurrence la mort. Elles peuvent tout au plus aider à définir des critères de décès. Quand nous invoquons un principe moral en faveur d'une mort digne, nous y voyons aisément l'intervention de l'esprit humain. Pourquoi n'en serait-il pas de même pour les sciences? Peut-être nous a-t-on laissé croire que les sciences constituaient un reflet fidèle de la réalité.

Il s'agit là d'une notion philosophique, mais sa méconnaissance empêche d'envisager lucidement les problèmes à fondement scientifique. L'élève moyen de dixième année parviendra à la saisir en observant assidûment le rôle de l'imagination dans l'élaboration de théories scientifiques originales. L'enseignant qui met largement en relief la part de l'imagination dans l'activité scientifique permet à ses élèves de se rendre compte que les théories scientifiques sont, tout comme des cartes routières, des représentations mentales de la réalité.

La science, phénomène culturel

On admet depuis longtemps que le cadre culturel influence fortement la pensée scientifique. Les sciences modernes ont vu le jour en Occident[20]. Les scientifiques et les technologues qui ont fait oeuvre de pionnier dans le Tiers Monde le savent bien, tout comme ceux qui ont enseigné les sciences à des jeunes des pays en développement. Bien des peuples ne voient pas l'utilité d'établir un lien de causalité entre les faits, comme nous le faisons. Nous avons été élevés dans une tradition scientifique fondée sur une conception mécaniste du monde[21], comme d'autres ont appris, par la "sorcellerie", à s'adapter au monde qui les entourait[22].

La science est donc un phénomène social dans le cadre duquel on apprend aux gens à envisager le monde d'une certaine façon, suivant des schèmes de pensée préétablis. On peut prendre comme exemple le sens artistique ou l'illusion d'optique. Ce qui est illusion d'optique dans une civilisation ne l'est pas nécessairement dans une autre. *Fondamentalement, nous voyons ce qu'on nous a appris à voir.* Autrement dit, notre perception visuelle est façonnée par notre tournure d'esprit.

Cette notion est inculquée à l'élève dans le deuxième volet du programme "Les sciences, un mode de connaissance", qui traite d'abord des illusions d'optique, puis soulève la question de l'influence de la formation du scientifique sur les idées sous-tendant ses travaux. Dans le septième volet, les élèves se servent de ce principe pour comprendre la différence entre la médecine canadienne, qui s'appuie sur les programmes de recherche scientifique, et l'acupuncture, qui s'inspire d'une conception toute différente du corps humain. (On ne peut expérimenter avec les principes du yin et du yang). Les élèves se rendent bien compte de l'influence des notions transmises lorsqu'ils se penchent pour la première fois sur un microscope pour observer une cellule et qu'ils ont du mal à l'apercevoir parce qu'on ne leur a pas appris à se représenter mentalement une cellule.

Les élèves qui suivent le programme ci-dessus ont appris que des scientifiques de formations différentes peuvent édifier des théories différentes, voire opposées. Cet aspect humain de la connaissance scientifique l'apparente à d'autres sphères d'activité telles l'économie, la religion et la politique. Il importe de le souligner dans l'étude des rapports entre les sciences et la société canadienne.

Lorsqu'on utilise un schéma de classement scientifique pour débattre un problème d'ordre politique, il faut être conscient de son caractère arbitraire[23]. Il ne faut pas partir du principe que ce schéma a un fondement dans la réalité ou qu'il est plus valable que ceux des autres structures sociales, mais estimer plutôt qu'il peut servir à résoudre le problème en question.

L'aspect de phénomène culturel de la science fait ressortir son caractère humain et, partant, une de ses grandes limitations. Les sciences portent l'empreinte des hommes qui ont édifié le savoir; par conséquent, elles n'échappent pas aux faiblesses humaines telles que les engouements passagers, les sophismes, le dogmatisme, le nationalisme et la phallocratie.

Le processus décisionnel en matière scientifique

Nous avons souligné le rôle important du consensus dans l'activité scientifique. Autrement dit, les hommes de science ont constamment des décisions à prendre, qu'il s'agisse de la façon de mener une expérience, de déterminer la meilleure hypothèse, etc.

Les données utilisées à cette fin constituent un élément crucial. Le scientifique doit évaluer leur degré de validité et de fiabilité pour en arriver à une décision rationnelle. Mais quels sont les critères à respecter à cet égard? Ce sont habituellement la tradition et le degré de conviction du scientifique qui lui dictent la ligne de conduite à suivre. On comprend dès lors pourquoi certains individus, étrangers aux questions scientifiques, reprochent aux hommes de science d'hésiter à se prononcer sur un problème collectif parce que, selon les

normes scientifiques, les données dont ils disposent ne sont pas suffisamment nombreuses, valides ou fiables. Les traditions en vigueur dans le domaine scientifique diffèrent de celles observées dans les autres sphères d'activité. C'est là une autre limitation des sciences.

Dans le programme "Les sciences, un mode de connaissance", les élèves s'initient d'abord à la prise de décisions en matière politique en déterminant la fiabilité et la validité des données, puis ils appliquent ces principes à l'activité scientifique, par exemple à la théorie de l'évolution des êtres vivants et à ses fondements.

Caractère évolutif de la connaissance scientifique

Par son imagination et son esprit créateur, chaque homme de science fait une contribution originale à l'oeuvre scientifique, que ce soit sur le plan expérimental ou théorique. La technologie améliore constamment les instruments scientifiques. Il en résulte des découvertes qui contredisent parfois les données scientifiques communément admises. Il appartient alors aux scientifiques de s'entendre sur les théories les plus valables. Toutes ces raisons expliquent pourquoi l'histoire des sciences est caractérisée par le changement. De façon générale, on peut dire que le savoir est en constante évolution, ce qui montre bien que les sciences ne constituent pas une série de dogmes.

Le caractère évolutif des sciences est un facteur important à ne pas négliger[24]. Lorsque des autorités s'adressent à des scientifiques pour résoudre un problème d'ordre collectif, elles doivent comprendre que leurs théories sont susceptibles de changement. Le contenu ou l'importance de ces dernières évolue en fonction d'un consensus des scientifiques. C'est ainsi qu'un organisme officiel sera déçu de voir que certaines conclusions scientifiques et techniques récentes contredisent celles dont il s'était servi précédemment pour établir un règlement. Si ses fonctionnaires, par manque de réalisme, avaient cru que les données scientifiques étaient immuables, leurs décisions initiales auraient sans doute laissé à désirer.

Le programme "Les sciences, un mode de connaissance" souligne abondamment le caractère évolutif des connaissances scientifiques. D'innombrables exemples de théories scientifiques nouvelles ou modifiées disposent l'élève à considérer les données des manuels en usage comme susceptibles de changement, même si les auteurs ne les présentent pas ainsi.

Le rôle des hypothèses en matière scientifique

Tout mode de connaissance repose sur des hypothèses indémontrables. Les sciences ne font pas exception, à cet égard. Le "postulat" échappe à toute définition précise, mais plusieurs exemples tirés du manuel "Les sciences, un mode de connaissance" en faciliteront la compréhension.

Le scientifique part du principe que la Nature se comporte de la même façon dans le temps (sur des milliards d'années) et dans l'espace (partout dans l'univers), et à toutes les échelles (moléculaire ou interstellaire)[25]. Il suppose aussi que tout effet a un lien logique avec sa cause, que les conclusions expérimentales n'ont de sens que si elles sont vérifiées isolément, et que la Nature peut être appréhendée rationnellement par l'Homme[26]. Les physiciens, en particulier, posent comme prémisse que les phénomènes naturels peuvent être représentés par des formules mathématiques. Ainsi, en prétendant que la Nature n'agissait pas au hasard, Einstein formulait-il un postulat.

Cette observation a une double incidence, dans un programme d'enseignement des sciences tenant compte de leurs interactions avec la société canadienne. Premièrement, on peut mettre en évidence les hypothèses scientifiques et les comparer à celles des autres modes de connaissance, telle la religion. C'est ce que fait l'élève au volet 9D du programme "Les sciences, un mode de connaissance", quand il confronte la théorie de l'évolution des êtres vivants au récit biblique de la Création. En observant les différences fondamentales entre les finalités premières et les prémisses essentielles des deux modes de

connaissance, l'élève se fait une idée nette de leurs limitations respectives. Ainsi se trouve résolue en grande partie l'incompatibilité apparente qui se manifeste, dans les cours de biologie, entre la théorie de l'évolution des espèces vivantes et le récit de la Création.

La deuxième conséquence fait plutôt appel à l'esprit logique. Les décisions et les raisonnements en matière scientifique sont forcément fondés sur les hypothèses qui servent de base aux sciences. Il en va de même dans les autres sphères d'activité colllective. Dans un domaine de contact entre les sciences et un autre secteur social, par exemple celui de la politique, il est ridicule d'étayer un argument politique sur une donnée scientifique, car ces deux domaines reposent sur des hypothèses différentes, et parfois même divergentes. Cela revient à "additionner des objets non comparables".

Il y a *certes* une manière correcte d'utiliser les données scientifiques dans le domaine politique. Mais il faut bien savoir alors quel genre d'hypothèses, autrement dit quel mode de connaissance doit l'emporter*. On ne peut mettre les deux sur le même pied.

De par les hypothèses sur lesquelles elle repose, l'activité scientifique comporte des limites bien précises qu'il importe de ne pas dépasser au risque de mal utiliser les connaissances disponibles et de fourvoyer les intéressés. Avis aux responsables!

La boutade bien connue de Santayana à propos de l'empirisme est révélatrice: "L'empiriste estime qu'il ne croit que ce qu'il voit, mais il croit beaucoup plus facilement qu'il ne voit".

Les valeurs scientifiques

Comme toute entreprise humaine, l'activité scientifique s'inscrit dans une hiérarchie de valeurs qu'il est inutile de rappeler ici[27]. La

*Voir à ce sujet le passage sur les différents rôles des sciences, à la page 46.

Commission de la politique pédagogique de la *National Education Association* des États-Unis considère les valeurs suivantes comme des caractéristiques de la pensée rationnelle attribuées couramment aux sciences[28]:

- soif de connaître et de comprendre;
- surprise toute neuve chaque fois;
- quête de données et effort d'interprétation;
- besoin d'expérimentation;
- souci de logique;
- prise en compte des prémisses; et
- examen des conséquences.

Le groupe d'enquête de l'"Opération Synthèse" a mis en relief les caractéristiques de l'esprit scientifique[29]: l'ouverture d'esprit, le scepticisme, l'esprit critique, le sens de l'exactitude, l'intégrité, l'habitude de baser ses conclusions sur des données vérifiables, et l'esprit de dialogue.

Dans son analyse des programmes d'enseignement des sciences, B. Kilbourn a dégagé une série fondamentale de valeurs implicites qui suggèrent à l'élève une conception mécaniste de la Nature, selon laquelle celle-ci fonctionne comme une horloge bien réglée[30]. Cette conception scientifique très répandue fait une large place au causalisme (succession de la cause et de l'effet dans le temps), au réductionnisme (décomposition de situations complexes en éléments simples) à l'adoption du principe voulant que le tout égale la somme des parties, et au raisonnement unidirectionnel (par opposition au raisonnement oblique).

Les valeurs scientifiques sont qualifiées de bien des façons: "caractéristiques", "vertus", "critères", "attitudes", "usages" et "conceptions de l'univers". Elles sont considérées par les scientifiques comme des objectifs fort louables, mais rarement atteints. Cette inaptitude à réunir toutes ces qualités fait ressortir le caractère humain de l'activité scientifique.

Le rôle des valeurs dans le processus décisionnel en matière scientifique est peut-être plus important que celui des faits, car ce sont elles qui inspirent les décisions. Comme les scientifiques prennent constamment des décisions, ils se laissent constamment guider par leurs valeurs préférées, outre leurs connaissances spécialisées.

Et s'ils se trouvent hors de leur champ de compétence? Quand on demande à un scientifique d'aider à résoudre un problème collectif, par exemple à titre de juré ou de membre d'une commission d'enquête, doit-il s'inspirer alors de valeurs scientifiques, morales ou juridiques? C'est une question de discernement. Il lui incombe dans ce cas de choisir l'échelle de valeurs qui convient le mieux, et ce n'est pas forcément celle de l'homme de science.

On associe habituellement le processus d'investigation à l'activité scientifique, mais il n'est pas l'apanage des hommes de science. Ainsi, quand l'État utilise ce procédé pour élaborer une politique officielle, il n'agit pas nécessairement de façon scientifique, mais il emploie simplement une méthode sûre et éprouvée[31].

Pour décider de l'échelle de valeurs à utiliser pour résoudre un problème collectif, il nous faut être conscient de celle que nous avons adoptée. Certains professeurs de sciences soutiennent que cette prise de conscience devrait être un des grands objectifs de l'enseignement des sciences, en particulier lorsqu'il porte sur des questions sociales relevant de ces dernières[32,33,34]. Nous y reviendrons.

L'une des manifestations des interactions des sciences avec la société, en particulier de leur mise en oeuvre technique, est l'apparition de problèmes collectifs en différents domaines: législatif, économique, juridique, moral, etc. Notre perception de ces problèmes est fonction de nos valeurs. Par conséquent, l'étude des interactions entre les sciences et la société nous amène inévitablement à envisager différentes valeurs: celles propres aux sciences et celles des autres genres d'activité. Les sciences et la technologie peuvent nous forcer

à nous interroger sur nos valeurs traditionnelles ou à en choisir de nouvelles. Plus ils prendront conscience des valeurs qui guident leur action, plus les grands décideurs et les citoyens canadiens éclairés prendront des décisions judicieuses au sujet de problèmes collectifs nécessitant le recours aux sciences.

La prise de conscience de ses propres valeurs est une condition indispensable à l'étude des relations entre les sciences et la société. L'élève analyse non seulement ses propres valeurs, mais aussi celles des autres. Du point de vue du bénéficiaire de l'enseignement des sciences, la prise de conscience de ces valeurs par le citoyen canadien l'aide grandement à s'adapter à la société scientifique et technologique au sein de laquelle il vit. En termes de type et d'utilisation des connaissances, elle se range dans les catégories trois, quatre et cinq, et contribue à la transformation de la connaissance subjective en connaissance objective (voir la figure II.3, p. 42).

"En insistant sur les valeurs personnelles, dans ses cours, le professeur de sciences amène l'élève à *interpréter* à sa manière l'enseignement reçu[35]". (C'est nous qui soulignons). Selon P. Hurd, cet exercice de prise de conscience développe chez lui le sens des valeurs pour les besoins de l'étude des interactions entre les sciences, la technologie et la société. Certains des objectifs qu'il énonce ont des liens avec les limitations des sciences: a) se rendre compte que l'évaluation des données est un mode de connaissance; b) comprendre qu'on peut fournir une explication toute verbale, et non seulement scientifique, à un problème humain; et c) ne pas se contenter de décrire les faits, mais les orienter vers la satisfaction des besoins de la collectivité, ce qui est une facette de l'étude des interactions entre les sciences et la société.

Dans une série de cours intitulée *Values and Science: A Critical Reassessment*, présentée en 1976 à l'Université Harvard, M. Everett Mendelsohn a montré que les valeurs scientifiques modernes ont été formées dans l'Europe occidentale du XVII^{e} siècle[36]. A partir

du bombardement nucléaire d'Hiroshima et de Nagasaki, il a mis en relief les déficiences de certaines valeurs et attitudes scientifiques fondamentales. Il a proposé quatre conditions propres à favoriser une insertion harmonieuse et ingénieuse des sciences dans la société:

1° la modestie: l'arrogance des scientifiques contemporains doit faire place à la modestie. Pour faire des choix réfléchis, il leur faut tenir compte des éléments de la société qui sont concernés;
2° l'accessibilité: il faut faciliter l'accès des sciences au grand public en l'aidant à comprendre l'activité scientifique (en la démythifiant), en le faisant participer aux grandes décisions (orientation de l'effort de recherche) et en démocratisant les sciences (aux États-Unis, les sciences ont toujours été en grande partie l'affaire des Blancs mâles de la classe moyenne);
3° la mise en oeuvre exclusive de programmes de recherches à des fins pacifiques, de nature non coercitive et ne comportant pas de manipulations: un serment scientifique analogue au serment d'Hippocrate prêté par les médecins transformerait les relations entre les sciences et la société;
4° le respect de la Nature: le souci des conséquences lointaines du bouleversement de la Nature.

Ces considérations pourraient constituer la trame d'un programme d'enseignement des sciences dans une perspective sociale, et l'adoption de ces règles assurerait aux Canadiens un avenir paisible et prospère.

IV CONCLUSION

Au début du présent exposé, nous avons étudié brièvement le cas de l'éthylomètre de Borkenstein, qui nous a amenés à nous demander où des autorités comme les magistrats acquéraient leur formation scientifique de base et le discernement nécessaire pour bien se servir de leurs connaissances en cette matière. Nous avons conclu ensuite à la nécessité d'un programme d'enseignement des sciences et des techniques tenant compte de leurs interactions avec la société, nécessité qui a été mise en relief au Canada, en Australie, en Grande-Bretagne et aux États-Unis, et sur le plan international par l'UNESCO.

Cependant, cette question n'est pas réservée aux enseignants des sciences. Des séances sur les rapports entre sciences et société ont eu lieu lors des assemblées des sociétés savantes tenues dans différentes régions du pays, et lors de la conférence de la Société des études canadiennes qui s'est déroulée en 1980 à Peterborough, en Ontario. Aux États-Unis, la *National Council for the Social Studies* a publié l'ouvrage *Science and Society: . Knowing, Teaching, Learning*[1], qui examine quelques-uns des grands thèmes du présent exposé.

Tout programme d'enseignement des sciences dans une perspective sociale envisage celles-ci comme un phénomène culturel s'inscrivant dans un cadre social. Même les théories, lois et données scientifiques "comportent un aspect culturel"[2]. Le présent exposé a fait ressortir les éléments subjectifs de l'activité scientifique: la représentation de la réalité, la part de l'imagination, le rôle du processus décision-

nel qualifié de consensus, qui repose sur des valeurs, des hypothèses, des croyances et des critères communs mais néanmoins arbitraires.

Toutefois, avant d'aborder la question des caractéristiques et des limitations des sciences *à inclure au programme d'enseignement*, il fallait définir le cadre du débat. Nous avons choisi à cette fin les besoins futurs des enseignés. Plus précisément, nous avons analysé: les différents types de connaissances scientifiques "acquises" dans les cours de sciences, les divers rôles que les élèves seront appelés à assumer à l'âge adulte, et les différentes utilisations qu'ils feront de leur savoir, en nous attardant sur la prise des décisions en matière de problèmes collectifs à fondement scientifique.

M. Fletcher Watson, principal intervenant lors du Colloque international sur les tendances mondiales de l'enseignement des sciences, réuni à Halifax, a souligné que la prise des décisions devait constituer l'objectif primordial des futurs programmes d'enseignement:

> "...non seulement voulons-nous que les élèves acquièrent les connaissances scientifiques et qu'ils connaissent les règles qui ont présidé à leur élaboration, mais aussi qu'ils sachent comment les appliquer dans la pratique"[3].

Or ce sont les valeurs humaines qui inspirent fondamentalement nos actes. La remarque de P. Hurd à ce propos complète les idées de F.G. Watson:

> "Les scientifiques élaborent les connaissances, les technologues nous montrent comment nous en servir, et nos valeurs nous dictent la ligne de conduite à suivre"[4].

Tous les Canadiens doivent user de discernement dans l'exercice du pouvoir que confèrent les connaissances scientifiques: tant les grands décideurs, tels les hommes politiques et les cadres industriels, que les simples citoyens et les praticiens des sciences ou des techniques. L'*interprétation* personnelle du monde qui l'entoure et de la société dans laquelle il vit est une tâche prioritaire pour le citoyen au fait des questions scientifiques.

LES SCIENCES, UN MODE DE CONNAISSANCE
Ébauche de contenu

Titre I — LES DIFFÉRENTS MODES DE CONNAISSANCE DU PUBLIC
Quelles sont les différentes formes et pratiques importantes de connaissance accessibles au public?

Volet 1	La politique	Exercice pratique: Parallèle dangereux (simulation)
Volet 2	Les arts	Exercice pratique: Lectures, "La perception visuelle" (film), projets
Volet 3	La philosophie	Exercice pratique: La logique, les sophismes, l'analyse d'annonces classées
Volet 4	L'économie	Exercice pratique: Lecture, projet (étude de cas)
Volet 5	La technologie	Exercice pratique: Lecture, La démographie (simulation)
Volet 6	La religion	Exercice pratique: Projet (entrevue)

Titre II — LES SCIENCES, UN MODE DE CONNAISSANCE PARMI D'AUTRES
En quoi consistent vraiment les sciences?

Volet 7 — Observations et théories: Pure construction de l'esprit
Exercice pratique: analyse psychologique de l'esprit humain (tests en laboratoire, lecture, visionnement de bandes magnétoscopiques, observation du comportement des enfants)

Volet 8 — Le scientifique: ses objectifs, ses méthodes et procédés d'élaboration des connaissances
Exercice pratique: Découverte des éléments halogènes (étude de cas)

Volet 9 — Les outils du scientifique

- Volet 9A — Observations, lois, hypothèses, théories et modèles
- Volet 9B — Faire de la science
- Volet 9C — Encore faire de la science
- Volet 9D — Perspective sur l'évolution des êtres vivants

Volet 10 — L'organisation rationnelle des données: le scientifique et son monde
Exercice pratique: La cellule vivante (étude de cas)

Titre III — LES INTERACTIONS DES SCIENCES AVEC LA SOCIÉTÉ
Influence de la société sur les sciences, et vice-versa

Volet	11	Les sciences et la société Exercice pratique: le Prix Nobel (simulation), film
Annexes		Activités recommandées (lectures, visionnement de bandes magnétoscopiques, entrevues, études de cas)

Bibliographie

I. **Nécessité de reconsidérer les objectifs de l'enseignement des sciences**

1. James E. Page, *Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences*, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, octobre 1979.

2. Paul Hurd, *New Directions in Teaching Secondary School Science*, Rand McNally, Chicago, Ill., 1969.

3. Paul Hurd, "Scientific Enlightenment for an Age of Science", *The Science Teacher*, vol. 37, janvier 1970, pp. 27-30.

4. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching", *The Science Teacher*, vol. 42, février 1975, pp. 27-30; Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2e éd., University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1970.

5. Fletcher G. Watson, "Science Education for Survival", dans *World Trends in Science Teaching*, Charles Mc Fadden, dir. de publ., Atlantic Institute of Education, Halifax, N.-É., 1980, p. 6.

6. Association for Science Education, *Alternatives for Science Education*, Association for Science Education, Hatfield, R.-U., 1979; Committee on the Teaching of Science, International Council of Science Unions, Newletter No. 5, Malvern College, Malvern, R.-U., août 1980.

7. David T. Suzuki, "Science should start with an R", *Macleans*, 21 janvier 1980, p. 4.

8. James E. Page, *op. cit.*

9. Paul Hurd, 1975, *op. cit.*

10. Graham W.F. Orpwood et Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s", *Orbit*, nº 51, février 1980, pp. 21-25.

11. Glen S. Aikenhead, "An Inventory of Objectives Concerning: Processes of Science, the Nature of Science, and the Social Aspects of Science", *The Accelerator*, vol. 8, printemps 1974, pp. 2-13.

12. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer et James T. Robinson, *Inquiry Group Report. Phase I. Desired States*, Rapport inédit rédigé pour les besoins de l'"Opération Synthèse",

School of Education, University of Colorado, Boulder, Colo., 1978.

13. Glen S. Aikenhead et Reg W. Fleming, *Les sciences, un mode de connaissance*, Department of Curriculum Studies, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 1975.

II. Le bénéficiaire de l'enseignement des sciences

1. Leo E. Klopfer, "The Evaluation of Learning in Science", dans *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*, Dr. Bloom et coll., dir. de publ., McGraw-Hill, New York, 1971.

2. Leo E. Klopfer, "A Structure for the Affective Domain in Relation to Science Education", *Science Education*, vol. 609, juillet-septembre 1976, pp. 299-312.

3. Glen S. Aikenhead, "Consonance Among Cognition, the Nature of Science, and Science Education: Towards a Theoretical Framework", communication présentée lors du 26e Congrès national de la National Science Teachers Association, Washington, D.C., avril 1978.

4. Maurice Bélanger, "Methodologies of Educational Research in Science and Mathematics", *Review of Educational Research*, vol. 34, juin 1964, p. 384.

5. Leo E. Klopfer, "The Teaching of Science and the History of Science", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 2, janvier 1969, pp. 87-95.

6. Michael Scriven, "The Methodology of Evaluation", dans *Perspectives of Curriculum Evaluation*, Ralph Tyler et coll., dir. de publ., AERA Monograph 1, Rand McNally, Chicago, Ill., 1967, p. 54.

7. Wayne W. Welch, "Curriculum Evaluation", *Review of Educational Research*, vol. 39, octobre 1969, p. 430.

8. Jerome S. Bruner, *The Process of Education*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1960.

9. Jerome S. Bruner, "The Process of Education Reconsidered", dans *Dare to Care/Dare to Act*, Robert R. Leeper, dir. de publ., Association for Supervision and Curriculum Development, Washington, D.C., 1971.

10. Audrey B. Champagne, Leo E. Klopfer et John H. Anderson, *Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics*, LRDC, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pens., 1979.

11. Leo E. Klopfer, 1976, *op. cit.*

12. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer et James T. Robinson, "The Role of Inquiry in Science Education: Analysis and Recommendations", communication présentée lors de l'assemblée annuelle de l'American Association for the Advancement of Science, San Francisco, Calif., janvier 1980.

13. *Ibid.*

14. Joseph J. Schwab, "The Teaching of Science and Enquiry", dans *Teaching of Science*, J. Schwab et P. Brandwein, dir. de publ., Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

15. *Ibid.*

16. Glen S. Aikenhead, "The Measurement of Knowledge About Science and Scientists: An Investigation into the Development of Instruments for Formative Evaluation", thèse de doctorat, Harvard University, Cambridge, Mass., 1972.

17. Glen S. Aikenhead, "Learning About the Scientific Enterprise in Saskatchewan High School Chemistry Classes: An Evaluation", *Saskatchewan Journal of Educational Research and Development*, vol.5, printemps 1975, pp. 4-29.

18. Willard W. Korth, "Test Every Senior Project: Understanding the Social Aspects of Science", communication présentée lors de la 42^{e} réunion de la National Association for Research in Science Teaching, Pasadena, Calif., février 1969.

19. R.G.E. Mitias, "Concepts of Science and Scientists Among College Students", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 7, juin 1970, pp. 135-140.

20. E. Jungwirth, "Scientists as People", *Journal of College Science Teaching*, vol. 2, février 1973, pp. 24-27.

21. Wayne W. Welch, 1969, *op. cit.*

22. Glen S. Aikenhead, 1975, *op. cit.*

23. Glen S. Aikenhead, "The Measurement of High School Students' Knowledge About Science and Scientists", *Science Education*, vol. 51, n^{o} 4, 1973, pp. 539-549.

24. Glen S. Aikenhead, "'Science: A Way of Knowing': A Tenth Grade Course for Teaching the Nature and Social Aspects of Science", communication présentée lors de la 17e Conférence annuelle de l'ATA Science Council, Banff, Alberta, 8 octobre 1977.

25. Michael Bassey, *Science and Society*, University of London Press, Londres, R.-U., 1968.

26. Charles R. Barman, John J. Rusch et Timothy M. Cooney, *Science and Societal Issues: A Guide for Science Teachers*, Price Laboratory School, University of Northern Iowa, Cedar Falls, Iowa, 1979.

27. Cheryl Charles et Bob Samples, *Science and Society: Knowing, Teaching, Learning*, National Council for the Social Studies, Bulletin 57, Washington, D.C., 1978.

28. John Lewis (directeur du programme), *Science in Society Project*, Heinemann Educational Books Ltd., Scarborough, Ontario, 1981.

29. David E. Newton, *Science and Society*, Holbrook Press, Boston, Mass., 1974.

30. Martin Goldstein et Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978.

31. Dietrich Schroeer, *Physics and Its Fifth Dimension: Society*, Addison-Welsey, Don Mills, Ontario, 1972.

32. David R. Biggins, "Biology and Ideology", *Science Education*, vol. 60, octobre-décembre 1976, pp. 567-578.

33. Rodger W. Bybee, "Science Education for an Ecological Society", *The American Biology Teacher*, vol. 41, mars 1979, p. 156.

34. James E. Page, *Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences*, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, octobre 1979.

35. Graham W.F. Orpwood et Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s", *Orbit*, n° 51, février 1980, pp. 21-25.

36. Glen S. Aikenhead, 1978, *op. cit.*

37. P.L. Gardner, "Attitudes to Science: A Review", *Studies in Science Education*, vol. 2, 1975, pp. 1-41.

38. D.R. Krathwohl, B.S. Bloom et B.S. Masia, *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook II: Affective Domain*, David McKay Co., New York, 1964.

39. Iain Cameron et David Edge, *Aspects of Scientism*, SISCON Project, University of Manchester, Manchester, R.-U., 1975.

40. George Eastman, "Scientism in Science Education", *The Science Teacher*, vol. 36, avril 1969, pp. 19-22.

41. Warren Weaver, "Science and People", *Science*, vol. 122, 30 décembre 1955, pp. 1255-1259.

42. J.M. Ziman, *Some Manifestations of Scientism: Limitations of the Scientific Attitude*, "Science in Society Project", Heinemann Educational Books, Scarborough, Ontario, 1979.

43. Dietrich Schroeer, *op. cit*, p. 11.

44. Marshall A. Nay et Robert K. Crocker, "Science Teaching and the Affective Attributes of Scientists", *Science Education*, vol. 60, avril-juin 1976, pp. 147-172.

45. M. James Kozlow et Marshall A. Nay, "An Approach to Measuring Scientific Attitudes", *Science Education*, vol. 60, avril-juin, pp. 147-172.

46. Hugh Munby, "An Evaluation of Instruments which Measure Attitudes to Science", dans *World Trends in Science Teaching*, Charles McFadden, dir. de publ., Atlantic Institute of Education, Halifax, N.-É., 1980.

47. Glen S. Aikenhead, 1973, *op. cit.*

48. R.E. Stake, J.A. Easley et coll., *Case Studies in Science Education*, Center for Instructional Research and Curriculum Evaluation, University of Illinois, Urbana, Ill., 1978.

49. Leonard H. Kochendorfer, "Classroom Practice of High School Biology Teachers Using Different Curriculum Materials", dans *Research and Curriculum Development in Science Education*, Lee E. Addison, University of Texas Publication 6720, Austin, Texas, 1967.

50. Glen S. Aikenhead, "Using Qualitative Data in Formative Evaluation", *Alberta Journal of Educational Research*, vol. 25, juin 1979, pp. 117-129.

51. Michael F. Connelly, "Research at the Firing Line: Carping, Conceptualization, and an Action Proposal", communication présentée aux sociétés savantes, CSSE-CACS, Montréal, Qué., juin 1980.

52. Douglas Roberts et Graham W.F. Orpwood, "Curricula Intentions and Classroom Strategies: A Case Study in Science Education", communication présentée aux sociétés savantes, CSSE-CACS, Montréal, Qué., juin 1980.

53. Wayne W. Welch, 1980, *op. cit.*

54. Douglas Roberts et Graham W.F. Orpwood, 1980, *op. cit.*

55. Denise Eby et Roger Tatum, *Consumer Chemistry Learning Activity Packages*, Unigraph, Seattle, Washington, 1978;

Marjorie Gardner (directrice du programme), *Interdisciplinary Approaches to Chemistry*, Harper and Row, New York, 1973;

Technology and Society Report Series, State University of New York at Stony Brook, 1978;

Lee R. Summerlin, *Chemistry of Common Substances*, Silver Burdett Co., Glenview, Ill., 1979;

Frank Jenkins, *ALCHEM*, J.M. LeBel Enterprises, Edmonton, Alberta, 1979;

Lucy T. Pryde, *Environmental Chemistry*, Cummings Publishing, Menlo Park, Calif., 1973;

Douglas A. Roberts et Graham W.F. Orpwood, *Properties of Matter: A Teacher's Guide to Alternative Versions*, OISE, Toronto, Ont., 1979.

56. J.A. Gibbons, "Curriculum Integration", *Curriculum Inquiry*, vol. 9, hiver 1979, pp. 321-332.

57. Harry S. Broudy, "Science and Human Values", *The Science Teacher*, vol. 36, mars 1979, pp. 23-28.

58. Everett Mendelsohn, "Values and Science: A Critical Reassessment", *The Science Teacher*, vol. 43, janvier 1976, pp. 21-23.

59. David T. Suzuki, "Science should start with an R", *Macleans*, 21 janvier 1980, p. 4.

60. Warren Weaver, *op. cit.*

61. Harry S. Broudy, *op. cit.*

62. Neil Postman et Charles Weingartner, *Teaching as a Subversive Activity*, Delacorte Press, New York, 1969.

63. Michael Polanyi, *Personal Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1958.

64. Glen S. Aikenhead, 1975, *op. cit.*

65. Glen S. Aikenhead, 1973 et 1978, *op. cit.*

66. D. Kurfman, *Developing Decision-Making Skills*, National Committee for the Social Studies, Yearbook, 1977.

67. Edward De Bono, *CoRT Thinking Lessons*, Direct Education Services Ltd., Blandford, Dorset, R.-U., 1974.

68. College Entrance Examination Board, *Deciding*, CEEB, New York, 1972.

69. John Lewis, *op. cit.*

70. J.A. Gibbons, *op. cit.*

71. Dietrich Schroeer, *op. cit.*

72. Glen S. Aikenhead et Reg. W. Fleming, *op. cit.*

73. Neil Postman et Charles Weingartner, *op. cit.*

74. Reg. W. Fleming, "Recombinant DNA: A Science-Society Case Study", Mt. Royal Collegiate, Saskatoon, Sask., ronéoté, 1980.

75. "Canada Feared Losing Scientists", *Star-Phoenix*, Saskatoon, Sask., 29 novembre 1979, p. B-1.

76. Glen S. Aikenhead et Reg W. Fleming, *op. cit.*

77. Everett Mendelsohn, *op. cit.*

78. David E. Newton, *op. cit.*

79. Samuel S. Epstein, *The Politics of Cancer*, Doubleday, Garden City, N.Y., 1979.

III. Caractéristiques et limitations des sciences

1. Glen S. Aikenhead et Reg. W. Fleming, *Les sciences, un mode de connaissance*, Department of Curriculum Studies, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Sask., 1975.

2. Glen S. Aikenhead, "'Science: A Way of Knowing': A Tenth Grade Course for Teaching the Nature and Social Aspects of Science",

communication présentée lors de la 17e Conférence annuelle de l'ATA Science Council, Banff, Alberta, 8 octobre 1977;

Glen S. Aikenhead, "Using Qualitative Data in Formative Evaluation", *Alberta Journal of Educational Research*, vol. 25, juin 1979, pp. 117-129;

Glen S. Aikenhead, "Science, A Way of Knowing", *The Science Teacher*, vol. 46, septembre 1979, pp. 23-25.

3. Michael Bassey, *Science and Society*, University of London Press, London, R.-U., 1968.

4. Martin Goldstein et Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978.

5. Garvin McCain et Erwin M. Segal, *The Game of Science*, 3e éd., Brooks/Cole Publishing, Monterey, Calif., 1977.

6. David E. Newton, *Science and Society*, Holbrook Press, Boston, Mass., 1974.

7. Dietrich Schroeer, *Physics and Its Fifth Dimension: Society*, Addison-Wesley, Don Mills, Ontario, 1972.

8. Joseph J. Schwab, "The Teaching of Science and Enquiry", dans *The Teaching of Science*, J. Schwab et P. Brandwein, dir., de publ., Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

9. Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2e éd., University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1970.

10. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching", *The Science Teacher*, vol. 42, février 1975, p. 28.

11. Willard W. Korth, "The Use of the History of Science to Promote Student Understanding of the Social Aspects of Science", thèse de doctorat inédite, Stanford University, Stanford, Calif., 1968.

12. Paul Hurd, *op. cit.*, p. 28.

13. Graham W.F. Orpwood et Douglas A. Roberts, "Science and Society: Dimensions of Science Education for the '80s", *Orbit*, no 51, février 1980, pp. 21-25.

14. John Lewis (directeur du programme), *Science in Society Project*, Heinemann Educational Books Ltd., Scarborough, Ontario, 1979.

15. Martin Goldstein et Inge Goldstein, *op. cit.*

16. *Ibid.*, p. 18.

17. *Ibid.*, p. 21.

18. S. Toulmin, *Philosophy of Science*, Hutchinson University Library, Londres, R.-U., 1953.

19. Everett, Mendelsohn, "Values and Science: A Critical Reassessment", *The Science Teacher*, vol. 43, janvier 1976, pp. 21-23.

20. Dietrich Schroeer, *op. cit.*, p. 11.

21. Brent Kilbourn, "World Views and Science Teaching", dans *Seeing Curriculum in a New Light: Essays from Science Education*, Hugh Munby, Graham Orpwood et Thomas Russell, dir. de publ., OISE Press, Toronto, 1980.

22. Max Marwick, "Is Science a Form of Witchcraft?", *New Scientist*, 5 septembre 1974, pp. 578-581.

23. Merritt E. Kimball, "Opinions of Scientists and Science Teachers About Science", thèse de doctorat inédite, Stanford University, Stanford, Calif., 1965.

24. Merritt E. Kimball, *ibid.*

25. Wayne W. Wiech, "The Development of an Instrument for Inventorying Knowledge of the Processes of Science", thèse de doctorat inédite, University of Wisconsin, Madison, Wis.

26. Merritt E. Kimball, *op. cit.*

27. Merritt E. Kimball, *ibid.*

28. Charles R. Barman, John J. Rusch et Timothy M. Cooney, *Science and Societal Issues: A Guide for Science Teachers*, Price Laboratory School, University of Northern Iowa, Cedar Falls, Iowa, 1979.

29. Wayne W. Welch, Glen S. Aikenhead, Leo E. Klopfer et James T. Robinson, *Inquiry Group Report. Phase I. Desired States*, rapport inédit rédigé pour les besoins de l'"Opération Synthèse", School of Education, University of Colorado, Boulder, Colo., 1978.

30. Brent Kilbourn, *op. cit.*

31. Leo E. Klopfer, "A Structure for the Affective Domain in Relation to Science Education", *Science Education*, vol. 60, juillet-septembre 1976, pp. 299-312.

32. Charles R. Barman et coll., *op. cit.*

33. Fred W. Fox, "After Concept and Process", *The Science Teacher*, vol. 40, avril 1974, pp. 19-20.

34. Paul Hurd, *op. cit.*

35. Paul Hurd, *ibid.*, p. 28.

36. Everett Mendelsohn, *op. cit.*

IV. Conclusion

1. Cheryl Charles et Bob Samples, *Science and Society: Knowing, Teaching, Learning*, National Council for the Social Studies, Bulletin 57, Washington, D.C., 1978.

2. Martin Goldstein et Inge Goldstein, *How We Know: An Exploration of the Scientific Process*, Plenum Press, New York, 1978, p. 260.

3. Fletcher G. Watson, "Science Education for Survival", dans *World Trends in Science Teaching*, Charles McFadden, dir. de publ., Atlantic Institute of Education, Halifax, N.-É., 1980, p. 6.

4. Paul Hurd, "Science, Technology, and Society: New Goals for Interdisciplinary Teaching", *The Science Teacher*, vol. 42, février 1975, p. 29.